

**Kognitív folyamatok életkorfüggő pszichofiziológiai változásai**

Doktori (PhD) disszertáció

Készítette: Gaál Zsófia Anna

2009

Témavezető: Dr. Molnár Márk, DSc

Pszichológia Doktori Iskola  
Dr. Hunyady György, DSc

Kognitív Pszichológia Doktori Oktatási Program  
Dr. Czigler István, DSc

A védési bizottság tagjai:  
Elnök: Dr. Csépe Valéria, DSc  
Belső opponens: Dr. Czigler István, DSc  
Külső opponens: Dr. Bódizs Róbert, PhD  
Tagok:  
Dr. Bányai Éva, PhD  
Dr. Varga Katalin, PhD  
Dr. Balázs László, PhD  
Dr. Bárdos György, PhD

# Tartalomjegyzék

<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>3</b>
1.1. STRUKTURÁLIS ÉS FUNKCIONÁLIS VÁLTOZÁSOK AZ ÉLETKOR ELŐREHALADTÁVAL .....	4
1.2. AZ ÉLETKORFÜGGŐ VÁLTOZÁSOKAT MAGYARÁZÓ ELMÉLETEK .....	5
1.2.1. Szenzoros deficit elmélet .....	6
1.2.2. Lassulási hipotézis .....	6
1.2.3. Forrás-deficit elmélet .....	7
1.2.4. Gátlási hipotézis .....	8
1.2.5. Frontális hipotézis / végrehajtó kontroll hipotézis .....	9
1.3. Az EEG .....	10
1.4. AZ ESEMÉNYHEZ KÖTÖTT AGYI POTENCIÁLOK .....	13
1.5. A NYUGALMI EEG ÉS AZ ESEMÉNYHEZ KÖTÖTT AGYI POTENCIÁLOK ÉLETKORFÜGGŐ VÁLTOZÁSA .....	16
1.6. ÉRZELMI INGEREK FELDOLGOZÁSA KÜLÖNBÖZŐ ÉLETKOROKBAN .....	18
<b>2. KÍSÉRLETEK.....</b>	<b>19</b>
<b>3. NYUGALMI EEG.....</b>	<b>20</b>
3.1. BEVEZETÉS .....	20
3.2. MÓDSZER .....	22
3.2.1. Kísérleti személyek .....	22
3.2.2. Elvezetés.....	22
3.2.3. A kísérleti helyzet .....	23
3.2.4. EEG-feldolgozás .....	23
3.2.5. Statisztikai elemzés.....	24
3.3. EREDMÉNYEK .....	25
3.3.1. Abszolút spektrum .....	25
3.3.2. Omega komplexitás .....	26
3.3.3. Szinkronizációs valószínűség .....	28
3.4. MEGBESZÉLÉS .....	29
<b>4. AKUSZTIKUS ODBALL HELYZETEK .....</b>	<b>32</b>
4.1. BEVEZETÉS .....	32
4.2. MÓDSZER .....	34
4.2.1. Kísérleti személyek .....	34
4.2.2. Ingeradás és elvezetés .....	34
4.2.3. Kísérleti helyzet .....	34
4.2.4. EEG-feldolgozás .....	35
4.2.5. Statisztikai elemzés.....	36
4.3. EREDMÉNYEK .....	37
4.3.1. Pszichológiai tesztek .....	37
4.3.2. A célingerekre adott válaszadás pontossága .....	38
4.3.3. Reakcióidő .....	39
4.3.4. Eseményhez kötött agyi potenciálok – két ingeres oddball helyzet .....	40
4.3.5. Eseményhez kötött agyi potenciálok – újdonság oddball helyzet .....	44
4.3.6. A pszichológiai tesztek és az EKP komponensek kapcsolata .....	48
4.4. MEGBESZÉLÉS .....	50
4.4.1. Pszichológiai tesztek és viselkedéses adatok .....	50
4.4.2. N1 és P2 komponensek .....	51
4.4.3. N2b komponens .....	52
4.4.4. P3b komponens – latencia .....	53
4.4.5. Reakcióidő .....	54
4.4.6. P3b komponens - amplitúdó .....	55
4.4.7. P3a komponens .....	56
<b>5. VIZUÁLIS ODBALL HELYZET ÉRZELMI TARTALMÚ INGEREKKEL.....</b>	<b>57</b>
5.1. BEVEZETÉS .....	57

5.2. MÓDSZER .....	60
5.2.1. Kísérleti személyek.....	60
5.2.2. Elvezetés.....	60
5.2.3. Kísérleti helyzet.....	60
5.2.4. EEG-feldolgozás .....	61
5.2.5. Statisztikai elemzés.....	61
5.3. EREDMÉNYEK .....	62
5.4. MEGBESZÉLÉS .....	63
<b>6. AKUSZTIKUS CNV HELYZET ÉRZELMI TARTALMÚ KÉPEKKEL.....</b>	<b>65</b>
6.1. BEVEZETÉS.....	65
6.2. MÓDSZER .....	68
6.2.1. Kísérleti személyek.....	68
6.2.2. Elvezetés.....	68
6.2.3. Kísérleti helyzet.....	69
6.2.4. EEG-feldolgozás .....	69
6.2.5. Statisztikai elemzés.....	70
6.3. EREDMÉNYEK.....	70
6.3.1. Vizuális kiváltott potenciálok.....	71
6.3.2. Akusztikus kiváltott potenciálok.....	73
6.3.3. CNV.....	75
6.4. MEGBESZÉLÉS .....	77
6.4.1. Vizuális kiváltott potenciálok.....	77
6.4.2. CNV.....	78
6.4.3. Akusztikus kiváltott potenciálok.....	80
<b>7. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>82</b>
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>84</b>
<b>MELLÉKLET – PSZICHOLÓGIAI TESZTEK .....</b>	<b>85</b>
<i>Brickenkamp-féle d2 teszt.....</i>	<i>85</i>
<i>Betűfluencia teszt.....</i>	<i>85</i>
<i>Raven Haladó Progresszív Mátrixok .....</i>	<i>85</i>
<i>Watkins nyomra illeszkedő eljárása.....</i>	<i>85</i>
<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>86</b>

# 1. Bevezetés

Az öregedés folyamata mindannyiunkat érdekel, hiszen reményeink szerint mi is megéljük az idős kort, és minél nagyobb mértékben szeretnénk megtartani az évek előrehaladtával is fizikai és szellemi állapotunkat a fiatalkorunkban megszokott szinten, illetve javítani teljesítményünket. Kíváncsiak vagyunk arra, hogy ez miért sikerül egyeseknek, másoknak pedig miért nem. Milyen faktorok befolyásolják az öregedés folyamatát, s ezek közül melyek fontosak a „sikeres” öregedéshez? És tulajdonképpen azok az idősök, akiknek a viselkedéses szinten megfigyelhető teljesítménye a fiatalokéhoz hasonló, velük azonos mechanizmusokat használnak, vagy egészen más úton járnak? S ha az általuk használt folyamatok eltérnek, megtanulhatók-e ezek a kompenzáló mechanizmusok a „kevésbé sikeresen” öregedők számára, vagy tudjuk-e úgy alakítani a környezeti tényezőket, hogy az öregedés hatásai ne legyenek korlátozók számukra?

Az öregedés anatómiai, fiziológiai és pszichológiai változásait hosszú ideig egymástól függetlenül tanulmányozták. Az utóbbi egy-két évtizedben azonban – az elektrofiziológiai módszerek, képalkotó eljárások fejlődésének köszönhetően – az öregedés kognitív idegtudománya már különálló kutatási területté válik, s egymásba ötvözve vizsgálja a különböző szinten zajló változásokat. Szem előtt tartja, a strukturális változások miként idézhetnek elő pszichológiai változásokat (pl. a prefrontális szürkeállomány atrófiája rosszabb teljesítményhez vezethet a munkamemória-feladatokban), illetve, hogy a pszichológiai folyamatok is hatnak az agy szerkezetére (új kognitív stratégiák tanulása az idegrendszeri hálózatok átépülését okozhatják).

Jelen dolgozat egyszerű kognitív feladatok során rögzített electroencephalogram (EEG), valamint a viselkedéses válaszok alapján vizsgálja, milyen változások következnek be az életkor előrehaladtával, mely paraméterek manipulálása növeli, s melyeké csökkenti a korcsoportok közötti különbségeket. Elemzéseink az EEG számos elemére kiterjednek. Vizsgáljuk a nyugalmi EEG-t, az egyes frekvenciasávokat, és az eseményhez kötött potenciálok (EKP-k) több komponensét (N1, P2, N2, P3b, P3a, CNV), akusztikus és vizuális ingerek esetén is. Ezen túl, a nagyon egyszerű ingerekre (tisztá hang) és a komplex, érzelmi töltésű képekre adott válaszokat is elemezzük.

## **1.1. Strukturális és funkcionális változások az életkor előrehaladtával**

Az ontogenezis során számos változáson megy keresztül a központi idegrendszer. Megváltozik mikroszkópos és makroszkópos szerkezete, működése egyaránt. A technikai fejlődés lehetővé tette, hogy ezeket a változásokat ma már nem csak post mortem, hanem in vivo is tanulmányozhassuk. Az agy súlya már a 30. életévtől csökken, de ez csak 60-65 éves kortól lesz makroszkóposan látható (Degrell, 2000). A térfogatcsökkenés az egyes régiókban, de az egyes sejtrétegekben is különböző mértékű: a temporális, parietális és occipitális kéregben a redukció csupán 1%, a striatumban 8%, míg a frontális kéregben eléri a 10-17%-ot (Haug és Eggers, 1991). Ennek hátterében elsősorban az idegsejtek méretének csökkenése áll. 45 éves kor alatt bármely területet vizsgálva még csak kis mértékű csökkenés figyelhető meg. 50 és 70 év között viszont már jobban zsugorodnak a kérgi neuronok. Ennek mértéke a prefrontális kéregben 22%, a parietálisban 6%, az orbitoprefrontálisban 3%, az elsődleges vizuális kéregben pedig 9%. 65 éves kor felett a sejtméret csökkenése még kifejezettebbé válik. Vezető helyen továbbra is a prefrontális kéreg áll (prefrontális: 43%, parietális: 11%, orbitoprefrontális: 25%, primer vizuális kéreg 13%) (Haug és mtsai, 1991).

A sejtek térfogatának redukciójával együtt jár a dendriték, a szinapszisok számának csökkenése is. A fehérállomány fogyása az egész agyban megfigyelhető, elsősorban a frontális lebenyt érinti (Raz és mtsai, 1997). A fehérállomány integritása is hanyatlik, ami szintén az anterior régiókban kifejezettebb a posterior területekhez képest (Madden és mtsai, 2007; Salat és mtsai, 2005).

Időseknel kevesebb az agyban a muszkarinerg és a nikotinerg kolinerg receptorok száma, valamint kisebb a neurotranszmitterek koncentrációja (Degrell, 2000). A legtöbb kutatás a dopamin szerepére fókuszál, mivel a dopaminerg rendszerek kritikus szerepet töltenek be a kognitív működésekben. A PET és SPECT vizsgálatok szerint a striatalis D<sub>1</sub> és D<sub>2</sub> receptorok kötőképessége csökken az életkor előrehaladtával (Wang és mtsai, 1998; Ichise és mtsai, 1998). A dopaminszint csökkenése megfigyelhető a frontális, temporális, occipitális lebenyben, a hippocampusban és a thalamusban egyaránt (Inoue és mtsai, 2001; Kaasinen és mtsai, 2000). Az öregedés során viszont felszaporodnak bizonyos anyagok (pl. lipofuszcín), valamint olyan jellegzetes mikroszkópos elváltozások alakulnak ki, mint a szenilis plakkok (Degrell, 2000). Utóbbiak eloszlására jellemző, hogy a legtöbb a prefrontális és a temporális kéregben található (Struble és mtsai, 1985, idézi West, 1996).

Az öregedéssel tehát megváltozik az agy szerkezete. Ebben a folyamatban a frontális kéreg nagyobb mértékben érintett, mint más régiók. Mindezek a változások megjelennek az agy működésében is. A regionális agyi vérátáramlás vizsgálatai szerint a fiataloknál és a középkorúaknál hiperfrontális jellemző (a kéreg anterior részén nagyobb a vérátáramlás a posterior területekhez képest), míg az időseknél hipofrontális mintázat figyelhető meg, a vérátáramlás szelektíven redukálódik a frontális kéregben (Gur és mtsai, 1987, idézi West, 1996).

Az agyi glükózanyagcsere intenzitása (rCMR<sub>glc</sub>) csökken az életkorral a frontális és a parietális régiókban (Azari és mtsai, 1992; Horwitz, Duara, és Rapoport, 1986). Az oxigén esetén is több területen csökken az anyagcsere intenzitása (rCMRO<sub>2</sub>), elsősorban itt is a frontális és a parietális lebeny érintett (Leenders és mtsai, 1990; Pantano és mtsai, 1984).

Roland (1984, idézi West, 1996) eredményei szerint a glükózanyagcsere és az oxigén-felhasználás szoros összefüggésben áll a fiataloknál és középkorúaknál, az időseknél viszont kevésbé szoros a kapcsolat a két folyamat között. Ez azt sugallja, hogy az időződő agy kompenzálni próbálja a csökkent oxigénforrásokat. Több kognitív feladat megoldásakor azt találták (pl. Cabeza és mtsai, 1997), hogy egyes régiókban csökkent, más területeken pedig fokozott az aktiváció az idős személyeknél a fiatalokhoz képest. Míg a csökkent aktivációt hanyatlásként, addig a megnövekedett aktivációt a funkcionális kompenzáció jeleként szokták értelmezni.

## ***1.2. Az életkorfüggő változásokat magyarázó elméletek***

A számos anatómiai, pszichológiai, pszichofiziológiai megfigyelés lehetővé és egyben szükségessé is teszi, hogy az öregedéssel kapcsolatban átfogó elméletek szülessenek, melyek nem csak azt írják le, mi változik, hanem arra is magyarázatot próbálnak adni, milyen mechanizmussal jöhetnek létre ezek a változások.

Az öregedés kognitív elméletei eredendően viselkedéses adatokon alapulnak, az agyi aktiváció változásaira nem térnek ki. A pszichofiziológiai kutatások eredményei mégis jól beilleszthetők ezekbe az értelmezési keretekbe. A főbb – egymást sok szempontból nem kizáró – elméletek, melyek itt tárgyalásra kerülnek, a következők: a szenzoros deficit teória (Lindenberger és Baltes, 1994), az általános lassulási hipotézis

(Salthouse, 1996), a forrás-deficit elmélet (Craik és Byrd, 1982), a gátlási hipotézis (Hasher és Zacks, 1988), valamint a frontális / végrehajtó kontroll hipotézis.

### **1.2.1. Szenzoros deficit elmélet**

A szenzoros deficit teória szerint a fő szerepet a kognitív teljesítmény romlásában a szenzoros feldolgozásban jelentkező hanyatlás játssza (Lindenberger és mtsai, 1994). Az időséknél romlik a látás, a hallás, s ezek az életkorfüggő folyamatok erős korrelációban állnak a kognitív változásokkal (Baltes és Lindenberger, 1997). Dennis és Cabeza (2008) három lehetőséget vázol fel, mint lehetséges hátteret az oki összefüggésre. Az első elképzelés szerint (kaszkád elmélet) az érzékszervek funkciócsökkenése vezet a szenzoros deficithez, aminek következménye a kognitív hanyatlás. Másik magyarázat lehet az ún. „közös ok” elmélet, miszerint kiterjedt idegrendszeri degeneráció okozza mind a szenzoros, mind a kognitív funkciók romlását. A harmadik elképzelés szerint, a percepció szinten tartása érdekében a gyengébb alulról felfelé irányuló szenzoros folyamatok kompenzációja a felülről lefelé irányuló folyamatok nagyobb mértékű bevonásával történik meg. Utóbbi elképzelést támasztja alá szerintük az először Grady és mtsai (1994), majd többek által leírt jelenség, miszerint az öregedés során a posterior területek aktivitásának csökkenésével párhuzamosan a prefrontális cortex aktivitása nő. Ez értelmezhető úgy, hogy az idősebbek a teljesítmény szinten tartása érdekében, pl. a vizuális feldolgozás deficitjét (kisebb occipitális aktivitás), magasabb szintű kognitív folyamatok bevonásával kompenzálják (frontális aktivitás növekedése). Ennek az ára viszont a reakcióidő megnyúlása.

### **1.2.2. Lassulási hipotézis**

A feldolgozási sebességet több változóval is jellemezhetjük. A pszichometriai kutatásokban a döntési sebességet és a perceptuális sebességet használják. Előbbi a viszonylag összetett kognitív teszteken, utóbbi az egyszerű, időkorlát nélküli helyzetben mindenki által megoldható feladatokban mért válaszadási idő. A pszichofiziológiában a reakcióidő és az eseményhez kötött agyi potenciálok (EKP) komponenseinek latenciája a mentális működések sebességét jellemző változó (Salthouse, 2000).

A lassulás periférikus nézőpontja szerint a központi idegrendszer működésének magasabb szintjei érintetlenek maradnak öregedéskor. Ennek ellentmondanak azok a kísérletek, melyekben növelik a feladat komplexitását, miközben a válaszolás módját konstansan tartják. Ilyenkor a reakcióidő a feldolgozási igénnyel arányosan nő időseknel (Cerella, 1985). Ez a lassulás centrális nézőpontját támasztja alá, mely szerint, bár történhet perifériás lassulás az életkorral, a szignifikáns lassulást a központi idegrendszer magasabb szintjein bekövetkező változás okozza (Bashore, 1990).

Cerella (1980) komplexitás hipotézise szerint az összes centrális folyamat nagyjából azonos mértékben lassul, s ebből kifolyólag a korcsoportok válaszási idejének különbsége a feladat komplexitásának megfelelően fog változni.

Salthouse (1996) szerint bár a lassulás általános jelenség, ennek mértéke nem azonos a különböző pszichés folyamatokban. A lassulás háttérben kevés és általános változó áll. A változás olyan kognitív műveleteket is érint, amelyekben a sebességnek nincs közvetlen szerepe. A kognitív folyamatok és a sebesség kapcsolata mögött olyan mechanizmusok állnak, melyek időben behatároltak és szimultán jellegűek. Mivel az idősebbek egységnyi idő alatt kevesebb információt tudnak feldolgozni, a feldolgozás egyes fázisaiban kevesebb adat áll rendelkezésre a továbblépéshez. Mindebből az következik, hogy a munkaemlékezet veszít hatékonyságából az öregedés során.

A sebesség szerepét igazolja Salthouse (2000) azon elemzése, melyben ennek a faktornak a hatását kiiktatta. Ekkor a teljesítmény különböző kognitív feladatokban tapasztalható életkori variabilitása eltűnt. Mindez azonban nem jelenti azt, hogy ezt az egy faktort kéne felelőssé tenni az összes életkori hatásért.

A lassulás háttérben valószínűleg a fehérállomány degenerálódása áll. Elképzelhető az is, hogy az öregedés során egyre kiterjedtebb idegrendszeri hálózatok bevonását igénylik az egyes folyamatok, s belátható, hogy a távoli agyterületek közötti kommunikáció lassabb lesz, mint a kis területre korlátozódó aktivitás (Dennis és mtai, 2008).

### **1.2.3. Forrás-deficit elmélet**

Craik (1986) szerint a kognitív hanyatlás háttérben az áll, hogy az öregedés során csökken a figyelmi kapacitás, kevesebb az elérhető forrás. Ezzel áll összefüggésben, hogy olyan környezeti elrendezésben, mely kisebb figyelmi igénybevétellel jár (pl. emlékezeti



előhívás vs. felismerés), a korcsoportok közötti különbség kisebb (Logan és mtsai, 2002; Schiavetto és mtsai, 2002; Anderson és mtsai, 2000; Cabeza és mtsai, 1997).

A figyelmi források csökkenésének feltételezhető oka a frontális lebeny működési hatékonyságának csökkenése. Dennis és Cabeza (2008) szerint ezzel a folyamattal áll összefüggésben az is, hogy a korcsoportok agyi aktivitásának laterizáltsága eltér. Elképzelésük az, hogy ha az egyik félteke működéséhez kapcsolható egy kognitív működés, a másik félteke tartalék kapacitást biztosíthat az adott folyamatban, amely mozgósítása lehetővé teszi a kompenzációt egy esetleges deficit előfordulásakor. Cabeza (2002) HAROLD (Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults) modellje is ezen az elképzelésen alapul. Az általa összegyűjtött irodalom azt támasztja alá, hogy míg a prefrontális lebeny aktivitása fiataloknál több feladat esetén is lateralizált, az időseknél csak kisebb aszimmetria figyelhető meg.

#### **1.2.4. Gátlási hipotézis**

Egyes elméletek a gátlásnak tulajdonítanak kiemelt szerepet. Ez a megközelítés Hasher és Zacks (1988) munkája után vált elterjedtté, akik szerint az életkor a gátló folyamatokat befolyásolja. Ettől kezdve a korábbi és az új kutatási eredményeket is sokszor ebben az elméleti keretben magyarázzák. A gátlás központi mechanizmus a munkamemória tartalmának meghatározásában, s ebből következően a kognitív funkciók széles skáláját befolyásolja. A gátló kontroll tulajdonképpen az a képesség, hogy az irreleváns vagy interferáló ingereket elnyomjuk.

Az idősök figyelme sokkal könnyebben elterelődik a környezeti ingerek, illetve saját belső folyamataik hatására is (Hasher és mtsai, 1991). Több zavaró hatással kell megküzdeniük, amikor olyan új feladatot tanulnak, amely egy korábban megtanult válasszal verseng (Kausler és Hakami, 1982, idézi Nielson és mtsai, 2002). Kisebb mértékű náluk a habituáció is, vagy ha nem is kisebb, lassabban alakul ki (McDowd és Fillion, 1992). Negatív előfeszítést alkalmazó helyzetekben az idősök teljesítménye nem romlik, amikor a korábbi elterelő inger válik célingerré, azaz – a fiataloknál tapasztalhatókkal szemben – nem mutatkozik negatív előfeszítés náluk (Tipper és Cranston, 1985, Tipper, 1985, Tipper és Driver, 1988, idézi Hasher és mtsai, 1991). Ezek hátterében minden esetben a gátló mechanizmusok hatékonyságának csökkenését feltételezhetjük.

A gátlás funkcionális neuroanatómiája nem teljesen feltárt terület, de az egyes feladattípusokban a prefrontális area ismétlődően szerepet kap. Nielson és munkatársai (2002) kísérleteikben azt találták, hogy sikeres gátlás során fiataloknál a jobb prefrontális és parietális régiók aktiválódtak leginkább. Időseknél az aktiváció bilaterálisan és prefrontálisan sokkal kiterjedtebb volt, a gyengébben gátlóknál a presupplementáris motoros area is aktívabb volt. Az idősök tehát a fiatalokéval azonos területeket aktiválnak a gátlás során, ám ugyanakkor további régiókat is bevonnak a hasonló szintű gátlás eléréséhez (Nielson és mtsai, 2002).

A gátlási hipotézis számos területen jól alkalmazható. Azonban a gátlás egy összetett konstruktum, melynek altípusai eltérőek lehetnek a mechanizmus szintjén, s lehetséges, hogy az öregedés a különböző elemeket eltérően érinti. De Jong és munkatársai (1995) például a gátlásnak két mechanizmusát különítették el: egy centrálisabb, szelektív folyamatot és egy perifériálisabb, nem specifikus gátlást. Kramer és munkatársai (1994) azt találták, hogy a frontális – a motoros kontrollban is érintett – területek által közvetített gátlást befolyásolja az öregedés, míg a posterior területekhez köthető gátló folyamatok kevésbé, vagy egyáltalán nem érintettek.

### **1.2.5. Frontális hipotézis / végrehajtó kontroll hipotézis**

Mind a forrás-deficit, mind a gátlási hipotézis (utólagos) idegtudományi magyarázata a frontális lebeny szerepét hangsúlyozza. Már a korai elképzelésekben felmerült, hogy a prefrontális kéreg felelős a kognitív szerveződés legmagasabb szintjéért, s ezáltal válik az agy „központi végrehajtójává” (Luria, 1980, idézi West, 1996). Spreen és Strauss (1998, idézi Salthouse és mtsai, 2003) szerint a végrehajtó funkció egy olyan összetett fogalom, melyhez a megfelelő és hatékony viselkedéshez szükséges kognitív folyamatok tartoznak. Ilyen a kezdeményezés, a tervezés, a hipotézis felállítás, a kognitív flexibilitás, a döntéshozatal, a visszajelzések felhasználása és a szelfpercepció. Ezek a működések mind a frontális területekkel kapcsolatosak, s ezért az irodalomban a frontális funkciók és a végrehajtó funkciók gyakran szinonim fogalomként szerepelnek.

Az agy régiói közül a frontális lebeny reagál legérzékenyebben az öregedéssel járó biológiai változásokra (Pfefferbaum és mtsai, 2005; O'Sullivan és mtsai, 2001; West, 1996). Az „egészséges” öregedés során olyan kognitív károsodások jelentkeznek, melyek lényegében azonosak, bár sokkal enyhébbek, mint azok, melyek frontális léziós betegeken

tapaszthatók (Craik és mtsai, 1990). Ez indokolja, hogy ennek a területnek nagyobb figyelmet szenteljünk az öregedéssel kapcsolatos kutatásokban.

Az anatómiai evidenciákon kívül viselkedéses módszerekkel is kimutatható, hogy a végrehajtó igényű feladatokban különösen nagyok az életkori különbségek (Mayr és Kliegl, 1993). Az idősek a fiatalokhoz képest gyengén teljesítenek a frontális lebeny működését vizsgáló teszteken, míg a nem frontális funkciókat tesztelő feladatokban a fiatalokkal összemérhető szintű a teljesítményük (Ardila és Roselli, 1989, idézi West, 1996).

A prefrontális károsodás vizsgálatára a neuropszichológiában leggyakrabban használt tesztek a Wisconsin kártyaszortírozási teszt (WCST), a szófluencia-vizsgálat, a Hanoi torony, és a „trail making”. Ezek a tesztek az öregedés hatásainak vizsgálatára is felhasználhatók. A WCST-ben az életkorral nő a perszeveratív hibák, válaszok száma, csökken az elért kategóriák mennyisége (Daigneault és mtsai, idézi Fristoe és mtsai, 1997). Szignifikáns csökkenés mutatható ki a fluenciában (Brickman és mtsai, 2005), és a Trail Making Teszt A és B változatában is hanyatlik a teljesítmény az időseknél (Tombaugh, 2004).

Mivel a végrehajtó funkciók olyan működéseket tartalmaznak, melyek az öregedés kognitív elméleteiben fontos szerepet töltenek be (gátlás, munkamemória, figyelmi kapacitás), jól alkalmazhatók lehetnek ezen a területen (Salthouse és mtsai, 2003). A végrehajtó kontrollnak általános, moduláló szerepe van nagyjából minden kognitív folyamatban, így deficitje felelős lehet a látszólag differenciálatlan életkori hatásokért (Mayr és mtsai, 2001).

### **1.3. Az EEG**

A pszichofiziológia az a tudomány, mely kapcsolatot teremt a fiziológiai változások és a pszichológiai jelenségek között. A dolgozat tárgyát képező kutatás az electroencephalogram (EEG), azon belül is elsősorban az eseményhez kötött potenciálok – a kognitív folyamatok indexeként használható változók – elemzésén alapul, ezért a következőkben ezekről lesz részletesebben szó.

Hans Berger 1929-es publikációja óta, mely az első humán EEG eredményeket tartalmazta, óriási módszertani előrehaladás történt ezen a területen, mellyel párhuzamosan

a tudományos fejlődés is nyomon követhető. A módszer előnye, hogy nem invazív, viszonylag olcsó, s nagyon finom idői felbontásra képes.

Az EEG a skalp két pontja közötti potenciálkülönbség időbeli változása. Mintázata az idegsejtek membránpotenciáljainak változását tükrözi. Hogy a fejbőrrel elvezethető potenciálváltozás jöjjön létre, több ezer kérgi neuron összehangolt tevékenysége szükséges, melyek szabályozásában thalamocorticalis és intracorticalis körök játszanak szerepet.

Az EEG ránézésre talán véletlenszerűnek tűnő jelének elemzésekor számos összefüggés fedezhető fel. Az EEG fenomenológiai jellemzésére elsősorban a klinikai gyakorlatban kerül sor, ahol a vizsgált tulajdonságok alapján döntik el, hogy az egészséges variáción belülnek vagy kórosnak tekinthető-e a jel. Ezek a vizsgált tulajdonságok a hullám morfológiája, téri eloszlása, a tranziensek jelenléte, a reaktivitás, a frekvencia, az amplitúdó, a téri-idői mintázatok, a szimmetria és a szinkronitás. Ezek a jellemzők változnak az egészségi állapottal, a tudatállapottal, az életkorral, de személyről személyre is.

Az elemzés során az egyik fő eszközünk a Fourier transzformáció (FFT), mellyel a jelet frekvencia-összetevőire bonthatjuk. Az eljárás eredményeként egy teljesítménysűrűség spektrumot kapunk, mely megmutatja, hogy a vizsgált időtartományban mekkora az egyes frekvenciatartományok részvétele az EEG-ben. Az egyes frekvenciasávokat hagyományosan görög betűkkel jelölik. A delta hullám (0,5-4 Hz, 20-200  $\mu$ V) gyerekeknél az első életév során figyelhető meg. Felnőtteknél mély alvásban regisztrálható, éber állapotban megjelenése kóros. A theta hullám (4-8 Hz, 20-100  $\mu$ V) elnevezése feltételezett thalamusbeli eredetére is utal. Normál, éber felnőtteknél csak kis mértékben, rendszertelenül van jelen. Álmos személyeknél, vagy az alvás során azonban megjelenik, illetve fontos szerepe van a gyerekkorban is. A béta ritmus (13-30 Hz, 2-20  $\mu$ V) éber állapotban túlnyomórészt a fronto-centrális területek felett regisztrálható.

A leggyakrabban az alfa aktivitást (8-13 Hz, 20-60  $\mu$ V) vizsgálják, mely éber állapotban az occipitális régió felett figyelhető meg maximális amplitúdóval. Leginkább csukott szemű, nyugodt személyeknél látható. A figyelem, mentális erőfeszítés, vizuális ingerlés blokkolja (McEvoy és mtsai, 2001; Fisch, 1991; Niedermeyer, 1997), ami a thalamus szinkronizáló befolyásának csökkenésének eredménye lehet (Steriade és mtsai, 1990). Ezért az alfa deszinkronizációt a kérgi aktiváció jelének tekintik (Filipovic és mtsai, 2001; Pfurtscheller és Lopes Da Silva, 1999). Az alfa szinkronizáció – az alfa teljesítmény növekedése – ezzel szemben a kérgi „tétlenség” jele (Pfurtscheller és mtsai, 1996). Az eseményhez kötött

szinkronizáció/deszinkronizáció (ERS/ERD) módszere lehetővé teszi ennek a téri, idői változásnak a jellemzését (Pfurtscheller és mtsai, 1996). Az alfa ERS a gátló kontrollban és a kéri folyamatok idői összehangolásában, az alfa ERD pedig a gátlás feloldásában játszik szerepet (Klimesch és mtsai, 2007). Specifikusabban az alfa ERS/ERD összefüggésbe hozható az éberséggel (6-8 Hz), figyelmi és elvárási hatásokkal (8-10 Hz), valamint a szemantikus emlékezettel (10-12 Hz) (Klimesch, 1999; Klimesch, 1997; Klimesch és mtsai, 1997).

Számos próbálkozás született az utóbbi évtizedekben új matematikai módszerek alkalmazására, hogy az EEG szabályszerűségeit minél inkább feltárhassák. Ezek sorában izgalmas kísérletek a káoszelméleti megközelítés alkalmazásai, a komplexitás- és szinkronizációs változások leírása. A nemlineáris analízisekkel a normál EEG háttérében húzódó dinamikát a korai elemzések alacsony dimenziójú kaotikus attraktorként jellemzik (Pritchard és Duke, 1992; Soong és Stuart, 1989), amit a későbbi kifinomultabb elemzések nem erősítettek meg (Pritchard és mtsai, 1995; Pritchard és Duke, 1995; Theiler és Rapp, 1996). Mindenesetre számos tanulmány arra jutott, hogy az EEG gyenge, de szignifikáns nemlineáris szerkezetet tükröz (Stepien, 2002; Stam és mtsai, 1999; Pritchard és mtsai, 1995). Ezen túl a különböző agyterületek felett regisztrált jelek közötti összefüggés is a működésre vonatkozó fontos információt nyújthat. Az egyes csatornák között kimutatható a nemlineáris összekapcsolódás, ezek az interakciók viszont jobban tanulmányozhatók a magnetoencephalographias (MEG) regisztrátumokon (Stam és mtsai, 2003). Ezen módszerek előnye, hogy az EEG dinamikájának olyan részleteit képesek megfogni, melyeket a lineáris elemzések nem jeleznek, s ezáltal lehetővé tesznek olyan fontos alkalmazásokat, mint például az Alzheimer kór szűrése korai stádiumban (Rossini és mtsai, 2008; Czigler és mtsai, 2008c).

A nyugalmi EEG éber egészséges személyeknél viszonylag magas dimenziójú komplexitással jellemezhető. A komplexitás az egyes szerzőknél más és más mérőszámot takar (pl. korrelációs dimenzió, pontkorrelációs dimenzió, Omega komplexitás). Bármelyiket is használjuk, az EEG leírásakor általában a randomitás fokát jelzi, a komplexitás az agy egymással interakcióban álló elemei közötti együttműködés hiányára utal (Stam, 2005). Minél nagyobb a hálózat elemei között a szinkronizáció, annál kisebb a komplexitás.

## **1.4. Az eseményhez kötött agyi potenciálok**

Az eseményhez kötött agyi potenciálok akkor keletkeznek, amikor egy inger jelenik meg, vagy egy várt inger marad el a környezetben. Számos összefoglaló létezik ebben a témakörben. A következőkben elsősorban Czigler (2002) és Altenmüller (1993) munkájára támaszkodom, részletesebb bemutatásra azok a komponensek kerülnek, melyek elemzésére sor került kísérleteinkben.

A háttér EEG-hez viszonyítva az EKP nagyon kicsi amplitúdójú (2-20  $\mu\text{V}$ ). A háttértevékenységből való kiemelkedéséhez javítani kell a jel-zaj arányt, mely az átlagolási technikával történik. Ez azon a feltételezésen alapul, hogy egy adott esemény ismételt előfordulásakor hasonló változásokat okoz. Így az EEG-ben az inger megjelenését követően nagyjából konstans idővel pozitív, illetve negatív kitérések regisztrálhatók. Ha ezeket a szakaszokat összeátlagoljuk, ez a jel egyre inkább kiemelkedik a háttérből, mivel a „zaj” kiátlagolódik, sok szakasz esetében értéke a nullához közelít. Az így kapott görbe az EKP, mely több komponensre osztható annak megfelelően, hogyan idézhetők elő azok, mekkora a latenciájuk, és milyen a polaritásuk.

Az EKP kvantitatív jellemzésére három változót használunk: az amplitúdót, a latenciát és a skalpon való eloszlást. Az amplitúdó a neurális aktivitás mértékének indexe, a latencia pedig ennek az aktivációnak az idői viszonyaival áll összefüggésben. Az eloszlástérkép egy komponens feszültség gradiensének mintázatát mutatja a skalpon, s a mögöttes neuroanatómiai aktivitás jelzője. Ha különböző ingerek által kiváltott potenciálok eloszlását hasonlítjuk össze, megállapíthatjuk, hogy különböző aktivitás mintázatokat hoznak-e létre, s ebből következően különböző funkcionális háttérrel rendelkeznek-e.

Az EKP korai, körülbelül 100 ms-nál rövidebb latenciájú összetevőit exogén komponenseknek nevezzük (pl. az agytörzsi auditoros kiváltott potenciál). Ezek nagyban függenek az inger fizikai tulajdonságaitól (hangnál például a hangerőtől, hangmagasságtól, a gyakoriságtól), egészséges személyekben mindig megjelennek.

Az endogén (késői) komponensek latenciája hosszabb, s szoros kapcsolatban állnak a kiváltással összefüggésbe hozható pszichológiai folyamatokkal.

Az EKP komponensei mögött álló generátor mechanizmusok kérdése összetett, azt megállapítani, hogy melyek egy komponens létrejöttéért felelős idegrendszeri területek és/vagy mechanizmusok, korántsem egyszerű feladat. Ennek oka, hogy az elektromos mező skalpi eloszlását ismerjük csak, ezt viszont elvileg többféle generátor-elrendezés is létrehozhatja (inverz probléma). Ez áll a háttérében annak, hogy a legtöbb komponens

generátora nem definiált pontosan. A másik nehézség, amivel szembe kell néznünk, hogy a különböző agyi struktúrák által létrehozott jelek átfedése nagy, ezért a komponensek szétválasztása némileg mesterséges.

Tradicionalisan az egyes komponenseket általában egy betűvel és egy számmal nevezik el. A referencia elektródához képest negatív komponens  $N$ , a pozitív  $P$  betűvel jelöljük. A szám azt jelzi, hogy hányadik negatív vagy pozitív komponensről van szó (pl.  $N1$ ,  $N2$ ), vagy azt, hogy az inger megjelenése után hány ms-mal jelenik meg (pl.  $N100$ ). A következőkben a dolgozat szempontjából fontos összetevők bemutatására kerül sor.

Az  $N1$  az a negatív hullám, mely 90 és 200 ms között éri el csúcspontját a kiváltó inger kezdete után. Ez a legkorábbi EKP összetevő, melyet modulálhat a pszichológiai állapot. Hillyard és munkatársai (1973, idézi Czigler, 2003) eredményei szerint a szelektív figyelem megváltoztatja az  $N1$  amplitúdóját. A nem várt, új ingert követő  $N1$  az orientációs válasz korrelátuma. Maximális amplitúdóval a vertexen jelentkezik, az inger ismételt adása során habituálódik.

A  $P2$  150-250 ms között megjelenő pozitív komponens. Kevés tanulmány van, mely keletkezésének mechanizmusát, kognitív korrelátumait vizsgálja. Általában az  $N1$ - $P2$  komplex kontextusban említik. Mégis külön komponensről beszélhetünk, mely maximumát a vertexen éri el, az inger modalitásától függetlenül. Amplitúdóját befolyásolja például a figyelem és az éberség. A figyelem magasabb szintje amplitúdócsökkenést, az alvás amplitúdó növekedést von maga után (Crowley és Colrain, 2004).

Az  $N2$  200 ms körüli negatív hullám az EKP-ban. Több alkomponensét különböztetik meg attól függően, hogy azok milyen helyzetben válthatók ki. Itt csak az  $N2b$  tárgyalására térünk ki, mely aktív diszkrimináció esetén jelentkezik.

Az  $N2b$  olyankor jelenik meg, amikor a feladatban releváns inger fizikai tulajdonságai megváltoznak, s ezekre az ingerekre figyel a vizsgálati személy. Latenciája erősen korrelál a reakcióidővel. Eloszlása frontocentrális. Nem nagyon érzékeny az inger fizikai paramétereinek változására, de függ olyan feladathoz kapcsolódó faktoroktól, mint a kategorizáció nehézsége és a figyelem. Az  $N2b$  amplitúdója nő azokban a feladatokban, melyekben hangsúlyos az „időnyomás” (Jodo és Katayama, 1992), illetve ahol gátolni kell egy választ (Kopp és Mtsai, 1996). Azoknál, akik többet hibáznak, az amplitúdó kisebb a jól teljesítőkhöz képest. Az  $N2b$  tehát a sikeres gátlás indikátora lehet, Falkenstein és munkatársai (2002) szerint modalitáspecifikus gátló folyamatokat tükröz.

Az EKP komponensei közül leggyakrabban a  $P3$  komplexet vizsgálják. Ez az inger megjelenése után 280-700 ms-mal megjelenő pozitív hullám. Több alkomponensből áll,

többnyire a P3a-t és a P3b-t szokták elkülöníteni. A kiváltására leggyakrabban alkalmazott helyzet az aktív oddball paradigma. Ennek során két- vagy többféle ingert mutatnak be a személynek. Az egyik az esetek nagy százalékában előforduló standard inger, a másik pedig a ritka célinger. A kísérleti személynek a célingerhez kapcsolódó feladatot adnak (gombnyomás vagy számolás). Az inger kiváltja a P3b komponenset. Ha az ingerek közé beiktatnak még olyan „újdonság ingereket” is, melyekről a személy előzetesen nem kap tájékoztatást, a P3a komponens jelenik meg. A P3a a frontális területek fölött figyelhető meg, latenciája rövidebb a P3b-nél, s gyorsan habituálódik. Valószínűleg frontális eredetű (Knight, 1990), de egyéb struktúrák (alsó parietális lebeny, gyrus cinguli) is részt vehetnek generálásában (Linden, 2005; Bledowski és mtsai, 2004). Az orientációs válasz értékelő, tudatos aspektusát tükrözi (Friedman és mtsai, 2001).

A célingerek által kiváltott P3b a munkamemória indexe (Donchin, 1986, idézi Katayama és Polich, 1996). Más elképzelés szerint egyfajta zárás jele: a várt esemény azonosítása után bekövetkező parietális perceptuális kontroll deaktivációjának jelzése (Verleger és mtsai, 1991). A P3b amplitúdója kisebb, latenciája hosszabb a P3a-énál, eloszlása centroparietális. Generátorai az agy számos területén előfordulnak, legfontosabbak a hippocampus és a temporo-parietális régiók (Molnár, 1994; Wood és mtsai, 1984). A legszélesebb körben elfogadott elképzelés szerint amplitúdója a környezet mentális modelljének frissítésével áll kapcsolatban (Donchin és Coles, 1988). Jelzi, hogy az inger milyen mértékű bizonytalanságot oldott fel. Egyenesen arányos a feladat relevanciájával, és fordítottan arányos a feladat nehézségével, illetve az inger valószínűségével. Az amplitúdó felhasználható a feladat-specifikus mentális kapacitás vizsgálatára is: megosztott figyelmű feladatban értéke csökken (Donchin és mtsai, 1986). A P3b latenciája az inger osztályozásának idejével, az inger kiértékelésével, a feladat nehézségével arányos (Duncan-Johnson és Donchin, 1982; McCarthy és Donchin, 1983). A figyelemmel és a vigilianciával negatív korrelációban áll.

A P3-t, az N2-höz hasonlóan, összefüggésbe hozzák gátló folyamatokkal. A két komponens azonban a gátlás különböző aspektusait jelzi, a P3b háttérében nemspecifikus folyamatok állnak (Falkenstein és mtsai, 2002).

A CNV (contingent negative variation) egy lassú negatív potenciál, mely két inger között alakul ki az EEG-ben, amikor az első ingert (S1, figyelmeztető inger) követő második ingerre (S2, felszólító inger) mozgásos és/vagy kognitív választ kell adni (Marton és Bakay, 1994). A CNV generátorai feltételezhetően a prefrontális, a posterior parietális, a temporális, az elsődleges motoros és a szomatoszenzoros kéregben, valamint a basalis



ganglionokban helyezkednek el (Bares és Rektor, 2001; Basile és mtsai, 1994; Ikeda és mtsai, 1997; Rosahl és Knight, 1995; Hamano és mtsai, 1997; Hultin és mtsai, 1996). Amikor tehát a személynek válaszolni kell a felszólító ingerre, lassú negativitás figyelhető meg az EEG-ben, amit felkészülési, várakozási folyamatokkal, a figyelmi források mozgósításával lehet kapcsolatba hozni. Ha a személynek nincs feladata, az EEG az alapszinten marad, ami annak jele, hogy további „előkészület” nem történik (Filipovic és mtsai, 2001). Ha a két inger között hosszabb idő telik el, két alkotórésze különíthető el a CNV-nek. A korait orientációval, a későit várakozási folyamatokkal szokták összefüggésbe hozni (Loveless, 1976). A CNV ideje alatt zajló kognitív erőfeszítés frekvencia- és területspecifikus szinkronizáció-deszinkronizációval is vizsgálható, ami jellemzi a mögöttes gátlási, emlékezeti, és orientációs folyamatokat (Molnár és mtsai, 2008).

### ***1.5. A nyugalmi EEG és az eseményhez kötött agyi potenciálok életkorfüggő változása***

Az életkori hatások már a nyugalmi EEG-n is kimutathatók. Az élet első két évtizedében az agy érésevel hozható összefüggésbe ezek a változások: az EEG amplitúdója kisebb, csökken a delta és a theta, nő az alfa aktivitás (Gasser és mtsai, 1988; John és mtsai, 1980). Anokhin szerint (Anokhin és mtsai, 1996) a relatív alfa teljesítmény és frekvencia 25 éves korban éri el a csúcát, majd 30 éves kortól lassú csökkenésnek indul. A relatív theta teljesítmény ezzel ellentétes mintázatot mutat. A relatív béta teljesítményben monoton növekedés figyelhető meg az életkorral.

Az alfa frekvencia lassul az öregedés során: a középkorúakra 10,5 Hz jellemző, ez a 80-as éveikben járóknál 8-8,5 Hz-re csökken (Obrist, 1976), bár a korosztály átlagánál egészségesebbeknél 9,5-10 Hz maradhat (Klass és Brenner, 1995; Smith, 1989). Az életkor előrehaladtával az alfa sáv amplitúdója is csökken, maximuma az anterior területek felé tolódik (Van Sweden és mtsai, 1999). Az alfa-blokkolás mértéke jelentősen csökken (Kononen és Partanen, 1993; Duffy és mtsai, 1993). Az idősebbek nyugalmi EEG-jében kisebb a féltekék közötti koherencia (Kikuchi és mtsai, 2000), az EEG komplexitása nő (Anokhin és mtsai, 1996).

Számos tanulmányban leírták már, hogy az öregedés befolyásolja az EKP komponenseit. Az azonban, hogy mely összetevő hogyan és milyen mértékben változik, illetve hogy ezeknek a változásoknak mi állhat a háttérében, nem világos teljesen.

Az N1 komponens latenciája a szerzők többsége szerint nem változik az életkorral (pl. Amenado és Diaz, 1998; Barrett és mtsai, 1987; Picton és mtsai, 1984), néhány kísérletben viszont enyhe növekedést találtak (Anderer és mtsai, 1996; Iragui és mtsai, 1993). Az N1 amplitúdójával kapcsolatban sem teljesen egybehangzóak az eredmények: vannak, akik az életkor előrehaladtával növekedést találtak a frontális és a centrális területek felett (Anderer és mtsai, 1996), mások viszont életkorfüggő hatást nem tudtak kimutatni (Iragui és mtsai, 1993; Barrett és mtsai, 1987; Picton és mtsai, 1984).

A tanulmányok nagy részében nem találtak az öregedéssel változást a P2 latenciájában (Barrett és mtsai, 1987), vagy pedig növekedést írtak le (Anderer és mtsai, 1996; Iragui és mtsai, 1993). Amplitúdójával kapcsolatban nincsenek konzisztens eredmények. Van példa a növekedésre (Pfefferbaum és mtsai, 1984), csökkenésre (Goodin és mtsai, 1978) és a változás hiányára egyaránt (Iragui és mtsai, 1993).

Az N2 latenciája lineárisan nő az életkor előrehaladtával (Amenado és mtsai, 1998; Anderer és mtsai, 1996). Amplitúdójának változása nem teljesen tisztázott, az erről közölt adatok is ellentmondóak.

Következésképpen leírt adat viszont, hogy a P3b latenciája nő az életkorral. A legtöbb szerző szerint a változás lineáris (Polich, 1996; Iragui és mtsai, 1993; Patterson és mtsai, 1988), mások szerint 45 éves kor körül törés látható, ekkortól kezdve felgyorsul a latencianövekedés mértéke (Anderer és mtsai, 1996; Brown és mtsai, 1983). A P3b amplitúdójában már nem mindenki talál változást, de ha mégis van ilyen, akkor ez szinte mindig csökkenés (Anderer és mtsai, 1996; Brown és mtsai, 1983). Tipikusan megváltozik a P3b eloszlása: a fiataloknál parietális maximumú, az időseknél viszont emellett megjelenik egy frontális csúcs is (Friedman és mtsai, 1997).

A CNV paramétereinek változása az életkorral nem egyértelmű. Egyesek szerint amplitúdója nem különbözik a fiatal és az idős csoportoknál (Hillman és mtsai, 2002; Dirnberger és mtsai, 2000), mások szerint viszont kisebb az időseknél (Michalewski és mtsai, 1980; Loveless és Sanford, 1974). Az eredmények eltéréseiben szerepet játszhat, milyen életkori sávba sorolják az időseket, illetve, hogy a feladat során kell-e motoros választ adni a személyeknek. Golob és mtsai (2005) kísérletében fiatalabb (60-69 év) és idősebb (85-98 év) időseket hasonlítottak össze fiatalokkal (17-23 év). Ha motoros választ nem igényelt a feladat, a két idős csoport nem különbözött egymástól, a fiatalokénál

viszont kisebb volt CNV-jük amplitúdója. Motoros válasz esetén a legidősebb csoportnál kisebb volt a CNV amplitúdója, a fiatalabb időséké viszont nem különbözött a fiatalokétól. Ez arra mutat rá, hogy a CNV amplitúdójában jelentkeznek az életkori különbségek, melynek hátterében az öregedésben leginkább érintett agyi régiók állnak, melyek a CNV generálásában is szerepet játszanak (pl. prefrontális kéreg). Amennyiben azonban motoros választ is igényel a feladat, ennek agyi korrelátumai elfedhetik a korcsoportok közötti különbségeket, mivel a szerkezeti változások a motoros válasz előkészítéséhez szükséges területeket (szuplementoros motoros, premotoros és elsődleges motoros kéreg) kevésbé érintik (Raz, 2000).

## ***1.6. Érzelmi ingerek feldolgozása különböző életkorokban***

Az öregedés során bekövetkező strukturális és funkcionális változások befolyásolják az érzelmi tartalmú ingerek feldolgozását is. Az ezt vizsgáló kísérletekben többségében affektív képeket, érzelmeket kifejező arcokat használnak ingerként. Az eredmények szerint az idősök nagyobb érzelmi reaktivitást mutatnak ezekben a helyzetekben, önbeszámolóik a kellemességről és az arousalról fokozottabbak. Ugyanakkor fiziológiai reaktivitásuk gyengébb, az autonóm, kérgi és arkifejezési aspektusai az érzelmi válaszoknak lecsökkennek náluk (Smith és mtsai, 2005; Gavazzeni és mtsai, 2008; Mather és Carstensen, 2003).

A jelenleg uralkodó elképzelés szerint az idősebbeknél egyfajta információ-feldolgozási torzítás figyelhető meg: a pozitív információkat előnyben részesítik a negatívakkal szemben (Ruffman és mtsai, 2008; Mather és mtsai, 2003; Charles és mtsai, 2003). Ez hatással van a kognitív folyamatokra is. A negatívhoz képest a pozitív információk nagyobb mértékű feldolgozását találták a figyelem, az emlékezet és a döntéshozatal területén is (Wood és mtsai, 2005; Mather és mtsai, 2003; Charles és mtsai, 2003). Ennek oka nem az, hogy az idősök elkerülnék a negatív ingereket: ha egyenként mutatják be a képeket, az idősök a negatívakat hosszabb ideig nézik (Charles és mtsai, 2003; Mather és mtsai, 2003). Az automatikus érzelmi figyelmi folyamatok nem változnak jelentősen az életkorral, nincs különbség, hogy észreveszik-e a fenyegető információkat. A pozitív torzítás a kontrollált folyamatoknál jelentkezik, ami befolyásolja az információk kódolását és későbbi előhívását is (Mather és Carstensen, 2005). Mivel egy top-down kontroll idézi elő ezt a fajta torzítást, azoknál jelentkezik nagyobb valószínűséggel, akik

kisebb jelét mutatják a kognitív hanyatlásnak, illetve eltűnik a hatás, ha a kapacitások igénybevétele nagy, mint a megosztott figyelmi helyzetben (Mather és mtsai, 2005).

Az életkori eltérések mögött az állhat, hogy a korcsoportok valószínűleg más kérgi hálózatokat használnak az érzelmi ingerek észlelésében, feldolgozásában (Jacques és mtsai, 2009; Mather és mtsai, 2004; Gunning-Dixon és mtsai, 2003; Tessitore és mtsai, 2005). Jacques és mtsai (2009) kísérletükben negatív képek feldolgozását vizsgálták. Eredményeik szerint az amygdala szerkezete és működése megőrzött az időséknél, ebből következően az eltérő érzelmi feldolgozásért nem ez felelős. Azonban míg a fiataloknál a jobb oldali amygdala a posterior régiókkal állt funkcionális kapcsolatban (vizuális, parahippocampalis és retrosplenialis kéreg), addig az időséknél a ventralis ACC-vel (anterior cingulum), ami az érzelmi regulációban játszik szerepet. Az időséknél tehát megnövekedett frontális aktiváció modulálja a vizuális feldolgozást, valamint elvonja a figyelmet a negatív ingerekről. Míg más szerzők a frontális aktiváció növekedését kompenzációs mechanizmusként értelmezik, Jacques és mtsai szerint ez egy érzelem-szabályozási stratégia, melyben kevésbé kapnak szerepet a vizuális feldolgozással (vizuális kéreg) foglalkozó, valamint az érzelmeket az epizodikus emlékezettel összekötő régiók (retrosplenialis kéreg), hangsúlyosabb viszont az érzelmi szabályozásért felelős terület (ACC).

Arra vonatkozólag, hogy az érzelmi tartalmú ingerek által kiváltott potenciálok hogyan változnak az életkor függvényében, összesen három cikk található a szakirodalomban (Langeslag és Van Strien, 2008; Wieser és mtsai, 2006; Wood és Kisle, 2006), eredményeikből egyértelmű következtetéseket nem vonhatunk le.

## 2. Kísérletek

Az itt bemutatásra kerülő kísérleteket az MTA Pszichológiai Kutatóintézetének Nemlineáris Pszichofiziológiai Csoportjában különböző kísérletsorozatok keretén belül rögzítettük.

Kiindulásul azt vizsgáljuk, hogy már alapállapotban is megfigyelhetők-e különbségek a korosztályok között, illetve hogyan reagálnak a csoportok egy olyan egyszerű aktivációra, mint ami a szemnyitás.

Ezek után az egyik leggyakrabban tanulmányozott helyzet, az akusztikus aktív oddball paradigma kerül tárgyalásra, melynek során a feladat nehézségének és az

instrukciónak a hatását vizsgáljuk olyan finom életkori felbontásban, amellyel a szakirodalomban ritkán találkozunk.

Az újdonság oddball helyzetet, ahol a feladat komplexitását újszerű ingerek bemutatása növeli, az aktív („két ingeres”) oddball helyzettel párhuzamosan elemezzük. Ezek a feladatok (többek között) igénybe veszik a figyelmi és az emlékezeti rendszereket, melyek új faktorokként kerülnek előtérbe a csoportok közötti különbségek vizsgálatakor.

A negyedik kísérlet az egyszerű vizuális oddball helyzeten abban lép túl, hogy az ingerek komplex, érzelmi tartalmú képek, a vizsgált új faktor, melyre az öregedésnek hatása lehet, az érzelem.

Az utolsó helyzet pedig azt vizsgálja, hogy egy klasszikus CNV feladat megoldását (ami a korábbi helyzeteknél tartósabb figyelmet igényel) hogyan befolyásolják az érzelmi tartalmú ingerek fiataloknál és időseknél.

A vizsgálatokban a személyek önként, anyagi ellenszolgáltatás fejében vállalták a részvételt. A kísérlet megkezdése előtt tájékoztatást kaptak annak menetéről, s írásos beleegyezésüket adták a részvételhez. Beszámolójuk alapján neurológiai és pszichiátriai betegségben nem szenvedtek, az EEG-t befolyásoló gyógyszereket nem szedtek. A kísérleti személyek hallása – a regisztráció előtt végzett audiometriás mérés alapján – normális volt a vizsgálathoz szükséges frekvenciatartományban. Látásuk is normális, vagy a normálisra korrigált volt. A kísérleteket az MTA Pszichológiai Kutatóintézet Etikai Bizottságának jóváhagyásával végeztük. Az elektrofiziológiai elvezetések akusztikusan és elektromosan árnyékolt helyiségben zajlottak.

## **3. Nyugalmi EEG**

### **3.1. Bevezetés**

Az öregedés során megváltozik az agy szerkezete és működése egyaránt. Ez a fiziológiai változás a háttér EEG általános „lassulásában” jelenik meg: nő a delta (0,5-4 Hz) és theta (4-8 Hz) sáv teljesítménye, az alfa sáv (8-14 Hz) domináns frekvenciája viszont csökken (Klimesch, 1999; Klass és mtsai, 1995). Vizsgálatunkban arra kerestük a választ, hogy a kísérleteinkben résztvevő fiatalok és idősek nyugalmi EEG-jében leírhatók-e különbségek az egyes frekvenciasávokban.

A kísérleti személyek egy nagyon egyszerű aktivációs helyzetben vettek részt: EEG-jüket rögzítettük miközben csukott szemmel ültek, majd kinyitották a szemüket. Ennek az aktivációnak a mértéke már jelezheti, hogy mennyire dinamikus változásokra képes az agy, esetünkben, hogy az egyes korcsoportokban a kognitív működések azonos funkcionális háttérben valósulnak-e meg. Meglepő módon a szakirodalomban szinte egyáltalán nincs olyan adat, amelyben különböző korcsoportokban vizsgálják a szemnyitás hatását. Az életkorral csökkent alfa reaktivitást találtak azonban vizuális feladatban (Kononen és mtsai, 1993; Marciani és mtsai, 1994), szagok azonosításakor (Kemp és mtsai, 2001), illetve számolási feladatban is (Marciani és mtsai, 1994). Ezek alapján feltételeztük, hogy a csoportok különbözni fognak az aktiváció mértékében szemnyitáskor, az időséknél kisebb dinamikájú változást vártunk.

Az elemzések során lineáris és nemlineáris komplexitás-mutatókat is használtunk. A komplexitásváltozások leírják az EEG dinamikáját az agy állapotainak függvényében, amint azt kimutatták Alzheimer kórban szenvedőknél (Besthorn és mtsai, 1995; Stam és mtsai, 1994) és epilepsziásoknál is (Lehnertz és Elger, 1995). De érzékenyek ezek a mérőszámok arra is, ha egy feladat végrehajtása kapcsán változik az agy működése. Képzelti tevékenység során a percepcióhoz képest frontocentrális dimenziónövekedést találtak (Aftanas és mtsai, 1994), meditációban csökkent a globális komplexitás (Aftanas és Golocheikine, 2002). Egyes kognitív feladatokban (számolás, csendes olvasás, vizuális feladat – Stam és mtsai, 1996; Tomberg, 1999; Bizas és mtsai, 1999) a komplexitás növekedését, míg munkamemória feladatokban csökkenését találták (Sammer, 1996; Molnár és mtsai, 1995).

Ez a megközelítés az agy működésének olyan tulajdonságait fedi fel, melyeket a hagyományos spektrumanalízis nem észlel. Például Molnár és mtsai (1999) vizsgálatában stroke-os betegeknek a spektrumelemzés nem jelezte egyértelműen az organikus károsodás oldalát, a pontkorrelációs dimenzió (PD2) viszont kimutatta azt. Stam és mtsai (1996) amikor Alzheimeres beteget, egészséges kontrolltól akartak elkülöníteni, azt találták, hogy a lineáris és nemlineáris módszerek kombinációja jelentősen megnöveli hatékonyságukat.

Anokhin és mtsai (1996) 7-61 éves személyek vizsgálatakor az EEG komplexitásának folyamatos növekedését írták le az életkor függvényében. A theta és alfa teljesítmény viszont nem változott a felnőttkor elérése után, csak a béta sáv teljesítménye mutatott – egy kezdeti csökkenés után (7-14 év) – növekedést az életkorral.

A komplexitásváltozások leírására az életkor függvényében a nyugalmi EEG-ben, illetve szemnyitás hatására egy vagy két esetben van példa a szakirodalomban. Alzheimer kórban szenvedőknél az Omega komplexitás nő, a szinkronizációs valószínűség csökken (Czigler és mtsai, 2008). Szemnyitás hatására a különböző mérőszámokkal mért komplexitás (Omega komplexitás, PD2) nő (Molnár és mtsai, 1999; Kondákor és mtsai, 1997; Czigler és mtsai, 2008). Stam (2005) szerint a komplexitásnövekedés mértéke a feladat nehézségének szintjével korrelál.

Mindezek alapján feltételeztük, hogy az időseknél, a fiatalokhoz képest, az EEG-ből számolt Omega komplexitás nagyobb, a szinkronizációs valószínűség kisebb lesz. A spektrumelemzéssel kapcsolatban leírtakhoz hasonlóan, hipotézisünk az volt, hogy szemnyitásra a komplexitás-mutatókkal leírható reaktivitás az idős csoportban kisebb lesz, mint a fiataloknál. Az öregedés frontális hipotézisének megfelelően azt vártuk, hogy az életkori különbségek mindhárom mérés alapján a frontális területek felett lesznek a legnagyobbak.

## **3.2. Módszer**

### **3.2.1. Kísérleti személyek**

Az elemzésben 64 személy adata szerepel, akiket két csoportba soroltunk. A fiatal csoportba a 18-35 év közöttiek ( $n=31$  fő – 16 nő, 15 férfi, átlagéletkor:  $22,71 \pm 3,58$  év), az idős csoportba pedig a 60-75 év közöttiek kerültek ( $n=33$  fő – 26 nő, 7 férfi, átlagéletkor:  $66,09 \pm 3,88$  év). Mivel az idősek között kevés volt a férfi, a nemek aránya két csoportban eltért ( $\chi^2=4,000$ ;  $p=0,046$ ).

### **3.2.2. Elvezetés**

A három öregedést vizsgáló kísérletsorozat mindegyikében az elvezetések a nyugalmi EEG rögzítésével kezdődtek. Ennek megfelelően az elemzésben szereplők nem mind ugyanabban a kísérletsorozatban vettek részt, ami miatt a rögzítés körülményei között kisebb eltérések adódtak, melyeket a feldolgozás során kiküszöböltünk (elektrodok száma, szűrés).

Az EEG-t NuAmp erősítőrendszerrel (szűrés: DC-40 Hz, illetve DC-70 Hz), a nemzetközi 10-20-as rendszernek megfelelően felhelyezett Ag/AgCl elektródokkal (19, illetve 33 db), NeuroScan 4.3. szoftverrel (mintavételezési frekvencia: 1000 Hz) regisztráltuk. Rögzítettük továbbá a horizontális és vertikális szemmozgásokat, az EKG-t, és a galvános bőrellenállást (utóbbi kettőt itt nem elemezzük). Referenciánk az orrhegy volt, a föld pedig a homlok, illetve az FCz pont. Az elektródok ellenállása egy esetben sem haladta meg a 10 k $\Omega$ -ot.

### **3.2.3. A kísérleti helyzet**

A személyeket arra kértük, hogy két percig nyugodt, ellazult állapotban üljenek először csukott szemmel, majd nyitott szemmel.

### **3.2.4. EEG-feldolgozás**

Az EEG elemzését a NeuroScan 4.3 programmal végeztük. Első lépésben FIR sávszűrővel 0,5 Hz és 40 Hz között 48 dB/oct meredekséggel szűrtük az EEG-t, majd 2048 ms-os szakaszokra daraboltuk fel. Az alapvonal igazítása az egész szakasz alapján történt, ezt kézi műtermékszűrés követte. Az elemzésekben a következő 19 csatornát használtuk: Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2.

#### **3.2.4.1. Abszolút spektrum**

A frekvenciaanalízist a NeuroScan FFT (Fast Fourier Transform) funkciójával végeztük. A következő hat frekvenciasávot definiáltuk: delta: 0,5-4 Hz, theta: 4-8 Hz, alfa1: 8-10 Hz, alfa2: 10-12 Hz, béta1: 12-25 Hz, béta2: 25-40 Hz. A diszkrét frekvenciaértékekből egy erre a célra írt MatLab program segítségével állítottuk elő az egyes frekvenciasávok abszolút teljesítményének sűrűség spektrumait. Az anterior és posterior területeket külön is vizsgáltuk, ekkor a megfelelő elektródokon mért értékek átlagolását végeztük a T3, C3, Cz, C4 és T4 elektródok kihagyásával.



### 3.2.4.2. Komplexitás-elemzés (Omega, SL)

A komplexitás-elemzések során két mutatót használtunk: az Omega komplexitást (Omega) és a szinkronizációs valószínűséget (SL). Mindkét mutatót a C. J. Stam (Department of Clinical Neurophysiology, VU University Medical Center, Amsterdam) által kifejlesztett DIGEEG szoftver segítségével elemeztük (a szerző engedélyével). Az EEG-t az abszolút spektrumnál ismertetett hat frekvenciasávban vizsgáltuk, a fenti indexeket kiszámoltuk az egész skalpra, valamint az anterior és posterior területekre.

Az Omega komplexitás tulajdonképpen a szinkronizáció fokának egy globális, feszültség- és frekvencia-független mérése az EEG csatornák között. Lineáris módszer, amely valójában a csatornák közötti kovarianciamátrix alapján végrehajtott téri főkomponenselemzés. Az Omega legalacsonyabb értéke 1 (maximális szinkronizáció), legmagasabb értéke pedig a csatornák számával egyenlő (nincs korreláció a jelek között) (Wackermann, 1999).

A szinkronizációs valószínűség a lineáris és nemlineáris szinkronizációra egyaránt érzékeny módszer. Értéke annak valószínűségét jelzi, hogy ha egy X rendszer  $i$  és  $j$  időpontban ugyanabban az állapotban van, akkor Y rendszer is ugyanabban az állapotban lesz  $i$  és  $j$  időpontban. Maximális szinkronizáció esetén értéke 1, független rendszerek esetén pedig kicsi, de nullánál nagyobb szám (Stam és van Dijk, 2002).

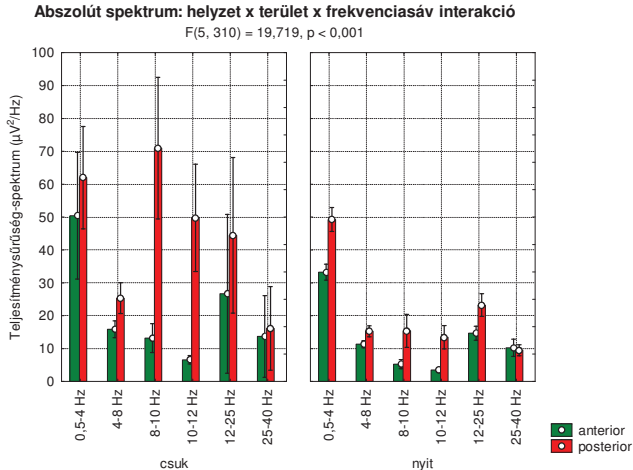
### 3.2.5. Statisztikai elemzés

Az adatok elemzése a Statistica 6.1 szoftverrel történt. A többszemponos varianciaanalízis során a vizsgált faktorok a következők voltak: (1) korcsoport (2 szint: fiatalok, idősök), (2) helyzet (2 szint: elvezetés csukott vagy nyitott szemnél), (3) frekvenciasáv (6 szint), (4) terület (2 szint: anterior, posterior). Ahol erre szükség volt, a Greenhouse-Geisser korrekcióval változtatott  $p$  értékek szerepelnek. A páronkénti összehasonlításoknál Tukey post hoc tesztet használtunk.

### 3.3. Eredmények

#### 3.3.1. Abszolút spektrum

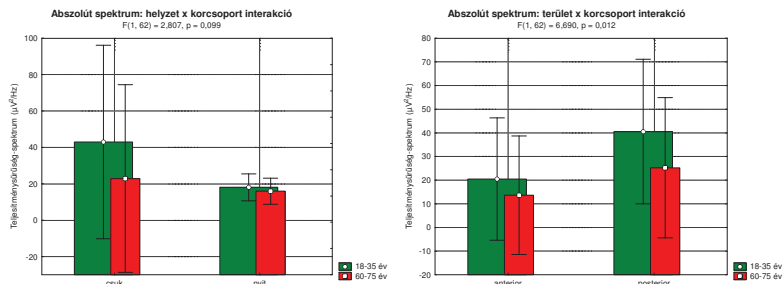
Az abszolút spektrumban a teljesítmény a szemnyitás hatására lecsökkent ( $F[1,62]=8,829$ ;  $p=0,004$ ). Ez a változás nem minden sávra volt egyformán érvényes ( $F[5,310]=3,318$ ;  $p=0,006$ ), a post hoc teszt alapján a teljesítménysűrűség spektrum az alfa1 ( $p<0,001$ ), alfa2 ( $p=0,012$ ) és a béta1 ( $p=0,089$ ) sávokban csökkent szemnyitáskor. Szignifikáns volt a helyzet x terület x sáv interakció is ( $F[5,310]=19,719$ ;  $p<0,001$ , 3.1. ábra): amikor csukott szemmel ültek a személyek, a hátsó területek felett nagyobb volt a teljesítmény az elülsőkhöz képest a delta ( $p=0,062$ ), alfa1 ( $p<0,001$ ), alfa2 ( $p<0,001$ ) és béta1 ( $p<0,001$ ) sávokban, míg nyitott szem esetén csak a delta sávban ( $p<0,001$ ). Szemnyitás hatására az anterior területek felett a delta ( $p<0,001$ ) és a beta1 ( $p=0,059$ ) sáv teljesítménye csökkent, míg a posterior területek felett a delta ( $p=0,024$ ), alfa1 ( $p<0,001$ ), alfa2 ( $p<0,001$ ) és béta1 ( $p<0,001$ ) sávoké.



3.1. ábra: A nyugalmi EEG-ből számolt abszolút spektrum: helyzet x terület x frekvenciasáv interakció. A frekvenciasávok sorrendje: delta, theta, alfa1, alfa2, béta1, béta2. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

Az abszolút spektrum teljesítménye a fiatal csoportnál nagyobb volt, mint az időseknél ( $F[1,62]=4,130$ ;  $p=0,046$ ). A helyzet x korcsoport interakció ( $F[1,62]=2,807$ ;  $p=0,099$ , 3.2. ábra) utótesztje szerint különbség a csoportok között a csukott szemes állapotban volt ( $p=0,010$ ), ez szemnyitás hatására megszűnt. A fiataloknál a teljesítmény csökkent szemnyitáskor ( $p=0,043$ ), az időseknél nem volt különbség a két állapot között. Az egyes frekvenciasávok teljesítményében nem tértek el a csoportok: sem frekvenciasáv x csoport, sem frekvenciasáv x helyzet x csoport interakciót nem kaptunk.

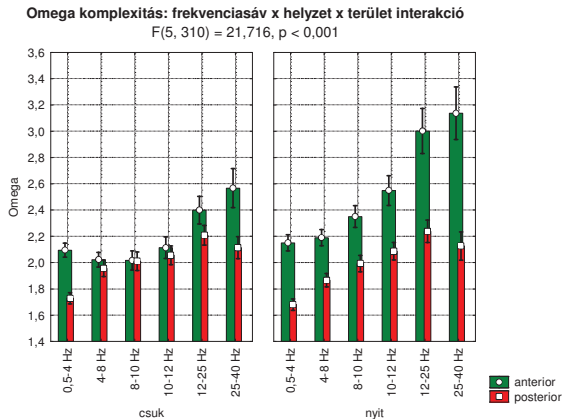
Eltért a csoportok teljesítménye a vizsgált területek felett ( $F[1,62]=6,690$ ;  $p=0,012$ , 3.2. ábra): míg mindkét csoportnál a hátsó terület felett nagyobb volt a teljesítmény, mint az elülső felett ( $p<0,001$ ), a fiatalok esetében a posterior elvezetésekben a teljesítmény az idősekéhez képest szignifikánsan magasabb volt ( $p=0,043$ ), az anterior régióban viszont nem különböztek.



3.2. ábra: A nyugalmi EEG-ből számolt abszolút spektrum: (A) helyzet x korcsoport interakció, (B) terület x korcsoport interakció. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

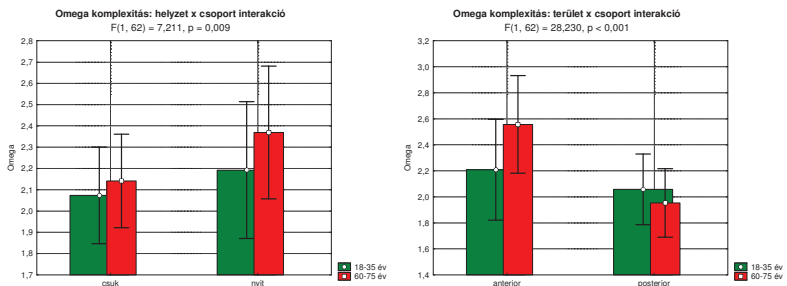
### 3.3.2. Omega komplexitás

Az Omega komplexitásra szignifikáns frekvenciasáv x helyzet x terület interakciót találtunk ( $F[5,310]=21,716$ ;  $p<0,001$ , 3.3. ábra). Szemnyitásra az Omega megnőtt az elülső területek felett 4-től 40 Hz-ig minden sávban. A hátulsó területek felett ilyen változás nem történt. Az anterior területek felett a posteriorhoz képest az Omega magasabb volt nyitott szemnél minden sávban, csukott szemnél pedig a delta, béta1 és béta2 sávokban (a post hoc tesztek eredménye a leírt eredményekre minden esetben  $p<0,001$ ).



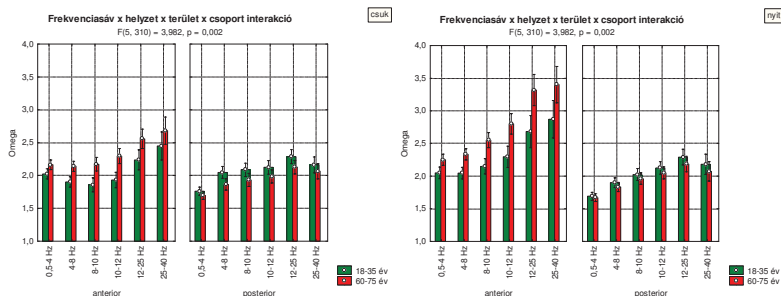
3.3. ábra: A nyugalmi EEG-ből számolt Omega komplexitás: frekvenciasáv x helyzet x terület interakció. A frekvenciasávok sorrendje: delta, theta, alfa1, alfa2, béta1, béta2. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

Az Omega az időseknél magasabb volt, mint a fiataloknál ( $F[1,62]=5,497$ ;  $p=0,022$ ). Mindkét csoportban a szemnyitás hatására megnőtt az Omega ( $p<0,001$ ). A csoportok értékei abban az állapotban különböztek, amikor nyitva tartották a szemüket ( $p<0,001$ ) ( $F[1,62]=7,211$ ;  $p=0,009$ , 3.4. ábra). A terület x korcsoport interakció alapján ( $F[1,62]=28,230$ ;  $p<0,001$ , 3.4. ábra) azt kaptuk, hogy bár mindkét csoportban az anterior területek felett nagyobb volt az Omega a posterior területekhez képest ( $p(\text{fiatal})=0,073$ ;  $p(\text{idős})<0,001$ ), itt a fiatalok értékei szignifikánsan alacsonyabbak voltak az idősekénél ( $p<0,001$ ).



3.4. ábra: A nyugalmi EEG-ből számolt Omega komplexitás: (A) helyzet x korcsoport interakció, (B) terület x korcsoport interakció. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

A frekvenciasáv x helyzet x terület x korcsoport interakció alapján ( $F(5,310)=3,982$ ;  $p=0,002$ , 3.5. ábra) a csoportok között az elülső területek felett, nyitott szemnél volt szignifikáns a különbség az alfa2 ( $p=0,012$ ), béta1 ( $p<0,001$ ) és béta2 ( $p=0,006$ ) sávokban. A területek közötti különbségek a következőképpen alakultak az egyes csoportokban: a fiataloknál az Omega az anterior területeken nagyobb volt a posteriorhoz képest nyitott szemnél a delta, theta ( $p=0,092$ ), alfa2 ( $p=0,009$ ), béta1 és béta2 sávokban, csukott szemnél pedig a delta és béta2 sávokban. Csukott szemnél azonban a posterior területeken volt magasabb az Omega értéke az alfa1 és alfa2 sávokban. Az idős csoportnál mindkét helyzet összes frekvenciasávjá esetén az Omega nagyobb volt az elülső területeken, mint a hátsókon (ahol külön nincs feltüntetve, mindenhol  $p<0,001$  a post hoc teszt eredménye). A csukott szemnél regisztrált EEG-hez képest szemnyitásra megnőtt az Omega az anterior területek felett a fiataloknál a 8-40 Hz-es sávokban ( $p<0,001$ ), az időseknél a 4-40 Hz-es sávokban ( $p<0,001$ ). Szemnyitásra egy esetben mutatott tendencia szintű csökkenést a post hoc teszt: fiataloknál a posterior területek felett a theta sávban ( $p=0,084$ ).



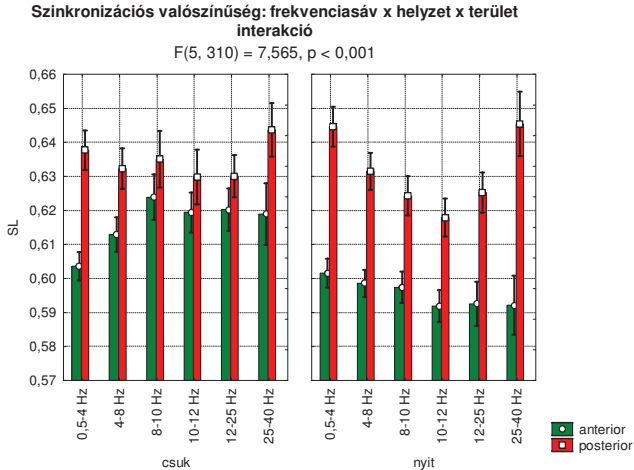
3.5. ábra: A nyugalmi EEG-ből számolt Omega komplexitás: frekvenciasáv x helyzet x terület x korcsoport interakció. A frekvenciasávok sorrendje: delta, theta, alfa1, alfa2, béta1, béta2. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

### 3.3.3. Szinkronizációs valószínűség

A SL változásairól a frekvenciasáv x helyzet x terület interakció ( $F(5,310)=7,565$ ;  $p<0,001$ , 3.6. ábra) utótesztjei alapján elmondhatjuk, hogy a szemnyitás hatására lecsökkent az anterior területeken a 4-40 Hz-es sávokban ( $p<0,001$ ), a posterior területeken

pedig az alfa1 és alfa2 sávban ( $p < 0,001$ ). A delta sávban a hátsó területeken nőtt az értéke szemnyitásra ( $p = 0,031$ ). Mindkét helyzetben az összes frekvenciasávra igaz, hogy a SL a hátsó területek felett nagyobb volt, mint az elülsők felett ( $p < 0,001$ ).

A csoportok között különbség az anterior területeken volt megfigyelhető ( $F[1,62] = 14,836$ ;  $p < 0,001$ ): a SL csökkent az életkorral ( $p = 0,006$ ). Mindkét csoportban a posterior régióban volt nagyobb a SL az anteriorhoz képest.



3.6. ábra: A nyugalmi EEG-ből számolt szinkronizációs valószínűség: frekvenciasáv x helyzet x terület interakció. A frekvenciasávok sorrendje: delta, theta, alfa1, alfa2, béta1, béta2. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

### 3.4. Megbeszélés

Szemnyitás hatására az EEG deszinkronizációja szabad szemmel is jól követhető. Ilyenkor az occipitalis területek felett az alfa aktivitás lecsökken. PET és fMRI kísérletekben (Belliveau és mtsai, 1991; Fox és mtsai, 1986; Phelps és mtsai, 1981) csukott szemnél az egész agyra egyenletesen kiterjedő aktivitást figyeltek meg, míg szemnyitásra – összhangban a megnövekedő feldolgozási igénybevétellel – occipitalis aktivitásnövekedés történt. Kísérletünkben azt találtuk, hogy az alfa1, alfa2 és béta1 sávok teljesítménye

csökkent szemnyitásra, ami a hátsó területek felett volt szignifikáns, illetve a bétal esetében az elülső területek felett is.

Az öregedés a spontán EEG-ben frekvenciaspecifikus változásokat okoz. A szakirodalom szerint nő a delta (0,5-4 Hz), theta (4-7 Hz), valamint a béta (15 Hz felett) aktivitás, megváltozik az alfa (7-14 Hz) sáv. Csökken – elsősorban occipitálisan – az alfa teljesítmény, csökken a domináns alfa frekvencia. Megváltozik az alfa aktivitás eloszlása, a posterior területek felől az anterior régiók felé tolódik (Niedermeyer, 1997; Polich, 1997). Vizsgálatunkban ezeket az eredményeket nem tudtuk reprodukálni. Frekvenciasávonként nem találtunk különbséget a korcsoportok között, az összteljesítményben azonban igen. A fiataloknál csukott szemnél nagyobb volt a teljesítmény, szemnyitás után azonban eltűnt a különbség. A fiataloknál tehát a szemnyitás hatására csökken a teljesítmény, míg az időseknél az aktiváció nem okozott szignifikáns változást, ami az agyi működés dinamikájának, a reaktivitásnak a csökkenésére utal. A csoportok teljesítménye – előfeltevéseinkkel ellentétben – a posterior régiókban különbözött, az anterior területeken viszont a spektrumelemzés alapján nem találtunk különbséget.

Éber személyeknél a kognitív folyamatok akkor is intenzívek, ha semmilyen feladatuk sincs. Emiatt a bejövő ingerek perceptuális feldolgozása vagy egy kognitív feladat végrehajtása csak kis mértékben változtat a „nyugalmi állapot” mintázatán. A nyugalmi EEG-t tehát, ami alacsony szinkronizáltsággal jellemezhető, a fiziológiai határokon belüli változások csak minimálisan befolyásolják (Stam, 2005). Nagy mértékű szinkronizáció-változás patológiás állapotot jelez. Leírták ezt degeneratív megbetegedéseknél, ahol a szinkronizáció nagy mértékben lecsökkent, illetve epilepsziás rohamnál, ahol megnőtt (Stam, 2005). Azonban az egyes komplexitásmutatók a kisebb, fiziológiai változások esetén is jelzik az agy állapotának változásait.

Vizsgálatunkban szemnyitás hatására az Omega megnőtt, a SL pedig lecsökkent 4-40 Hz-ig minden sávban. Csukott szemnél ugyan nem adódott különbség a csoportok között, nyitott szemnél azonban az Omega az időse csoportban szignifikánsan magasabb volt. Megfigyeltünk területi különbségeket is: mindkét csoport esetén az anterior régiók felett volt magasabb az Omega a posteriorhoz képest. Ez a mérőszám jelezte az anterior területek felett a korcsoportok különbségét: az időseknél itt nagyobb volt a komplexitás. A területi különbségek a csoportok között abban is megmutakoztak, hogy míg az időseknél mindkét helyzetben az összes sávra igaz volt, hogy az Omega az anterior régiók felett magasabb, addig a fiataloknál ez csak nyitott szemnél volt igaz. Náluk csukott szemnél csak az alfa1 és alfa2 sávokban tért el a komplexitás, mégpedig – az idősekkel ellentétben

– a hátsó területek felett volt magasabb. Ezek az eredmények a kapcsolatok széttörőredezésére utalnak az időseknél, ami elsősorban az elülső területeket érinti.

Jelezte a csoportok közötti különbségeket a SL is: az idősekhez képest a fiatalabb csoport EEG-jében az anterior régióban magasabb volt, ami hatékonyabb kapcsolatokra utalhat ezen a területen. A hátsó régiók esetén életkori eltérést nem találtunk. Mindkét csoportnál a SL a posterior területeken volt nagyobb az anterior régiókhoz képest.

Szemnyitás hatására az Omega növekedését korábbi tanulmányok is kimutatták (Czigler és mtsai, 2008; Molnár és mtsai, 2006; Kondákor és mtsai, 1997). Ez azt jelezheti, hogy ebben az állapotban több független folyamat zajlik, megnő az egymástól független generátorok száma (Molnár és mtsai, 2006), nő az agy különböző területein működő hálózatok versengése (Sammer, 1999). Kóros állapotban – pl. stroke-os betegnél a lézió oldalán – a komplexitásnövekedés kisebb (Molnár és mtsai, 2006), vagy akár teljesen hiányozhat (Alzheimer kórban – Pritchard és mtsai, 1991), ami jelzi, hogy az agy elveszti reakciókészségének dinamikáját.

Bár az „egészséges” öregedés nem jár az említett betegségekhez mérhető változásokkal, az agy szerkezete megváltozik: az idegsejtek zsugorodnak (Haug és mtsai, 1991), kapcsolataik száma csökken (Raz és mtsai, 1997), megváltozik a neurotranszmitterek koncentrációja (Degrell, 2000). Az anatómiai változások legkorábban és legnagyobb mértékben a frontális lebenyt érintik (Haug és mtsai, 1991; West, 1996). Míg vizsgálatunkban a spektrumelemzések nem jelezték, hogy a – kísérletben résztvevő személyeknél is feltételezhetően meglévő – strukturális változás hatása megjelenne az EEG-ben, addig a komplexitás-mérőszámok egyértelműen mutatták, hogy az életkori különbségek az agy elülső területeit érintik. Ez arra utalhat, hogy a korábban kiépült hálózatok strukturális alapja felbomlik, a hálózatok meggyengülésével az információfeldolgozás hatékonysága csökken (Delbeuck és mtsai, 2003). Kikuchi és mtsai (2000) szerint a két félteke közötti funkcionális kapcsolatok csökkennek nyugalmi állapotban az életkorral, amint azt az összes frekvenciasávban kimutatható alacsony koherencia jelezte.

Az időseknél talált magasabb komplexitás alátámaszthatja azt az elméletet, mely szerint az „idegrendszeri zaj”<sup>1</sup> növekszik az életkorral. Ennek értelmében megnő azon

---

<sup>1</sup> Allen (Allen, 1991; 1990) elképzelése szerint az öregedés során nő az idegrendszeri zaj, megnő az aktuális feldolgozáshoz nem kapcsolódó folyamatok aránya, mely rontja a specifikus működések hatékonyságát. Erre az elméletre viszonylag kevés utalás történik, emiatt nem került külön tárgyalásra az általános elméletek között.



folyamatok száma, melyek az aktuális információfeldolgozáshoz nem kapcsolódnak (Allen, 1991; 1990), csökkentve a specifikus folyamatok hatékonyságát.

Kísérletünkben a korcsoportok közötti különbségek aktiváció hatására váltak mérhetővé, s a területi különbségek rámutattak arra, hogy az elülső területek a legérzékenyebbek az öregedés hatásaira.

## **4. Akusztikus oddball helyzetek**

### **4.1. Bevezetés**

Az akusztikus oddball feladatokban az eseményfüggő potenciálok életkorral kapcsolatos változásait vizsgáltuk. A szakirodalmi adatoknak megfelelően azt vártuk, hogy minél későbbi egy komponens, annál inkább érinti az öregedési folyamat hatása, mely megmutatkozik latenciájának, amplitúdójának és eloszlásának megváltozásában egyaránt.

A legtöbb akusztikus EKP-t vizsgáló tanulmány szerint a P3b latenciája nő az öregedés során, és ez a növekedés lineáris összefüggésben áll az életkorral (Polich, 1996; Iragui és mtsai, 1993; Patterson és mtsai, 1988). Azonban néhány esetben azt találták, hogy ez a latencia-lassulás felgyorsul 45 éves kor körül (Anderer és mtsai, 1996; Brown és mtsai, 1983). Bár nem könnyű összehasonlítani az egyes kísérletekben alkalmazott feladatok nehézségi fokát, úgy tűnik, hogy azokban az esetekben, amikor a latencia és az életkor között a kapcsolat egy egyre meredekebb görbével volt leírható, a végrehajtandó feladat nehezebb volt, mint azokban a helyzetekben, ahol egy lineáris görbével volt leírható ez a kapcsolat. Feltételezhető, hogy az öregedés hatása nem korlátozódik pusztán egy mechanizmusra, és valószínűleg a különböző folyamatok különböző mértékben érintettek. A latencia növekedéséhez hozzájárulhat például a feldolgozási folyamatok lassulása vagy a gátlási folyamatok hatékonyságának csökkenése. Ha ezek befolyása az életkorral nagyobb mértékűvé válik, valószínűleg a kapcsolatuk nem írható le egy lineáris görbével. Elképzelhető, hogy ez a kumulatív hatás akkor válik csak észrevehetővé, ha a feladat olyan nehézségűvé válik, hogy a megnövekedett kapacitásigény már nem kompenzálható.

A „két ingeres oddball” helyzetben azt vizsgáltuk, hogyan változik a P3b latenciája az öregedés során különböző nehézségű oddball feladatokban gyorsasági és pontossági

instrukció esetén. Feltételeztük, hogy a „gyors-nehéz” feladatot a legnehezebb, a „pontos-könnyű”-t pedig a legkönnyebb végrehajtani. A reakcióidő megnövekedését vártuk a feladat nehezedeésével és az életkorral, illetve hogy a csoportok közötti különbség a „gyors-nehéz” feltételben nagyobb lesz, mint a „pontos-könnyű” feltételben. Feltételezhetjük, hogy a fent tárgyalt kumulatív hatásoknak megfelelően a P3b latenciája is a nagyobb kapacitásokat igénylő „gyors-nehéz” helyzetben lesz a leghosszabb.

A P3 komponensek amplitúdója az aktuális feladatban elérhető mentális kapacitással hozható összefüggésbe (Donchin és mtsai, 1988). Ha ez a kapacitás csökken az öregedés során, akkor feltételezhetjük, hogy a P3a és P3b komponensek amplitúdója csökken az életkorral. Ez a változás a P3b esetén a legidősebbeknél lesz a legnagyobb mértékű, elsősorban akkor, ha a feladat végrehajtásában a gyorsaságnak fontos szerepe van, ami egyfajta idői nyomást jelent, és így a feladat nehezebbé válik.

Feltételezhetjük továbbá, hogy a P3a – az öregedés frontális hipotézisének megfelelően – érzékenyebb az öregedés hatásaira, mint a P3b komponens, genezisében ugyanis bizonyítottan részt vesznek a frontális területek (Daffner és mtsai, 2000; Knight, 1987; Knight, 1997). Mindkét komponenst egy újdonság oddball feladatban vizsgáltuk, mely ugyan egyszerű frekvencia-diszkriminációt igényelt csak, de az újszerű ingerek nehezítették a kísérleti személyek feladatát.

Az életkor előrehaladtával a P3b komponens eloszlása megváltozik, a frontális területek felett is tapasztalható egy amplitúdó csúcs (Polich, 1996). Friedman (2003) szerint ez azzal áll összefüggésben, hogy az idősök munkaemlékezete kevésbé jól működik, s ezért ők a frontális lebeny folyamatait használják továbbra is, újként kezelik azokat az ingereket, melyek a fiataloknál már a munkaemlékezetben, vagy a hosszú távú emlékezetben reprezentáltak. Ezért megvizsgáltuk, lehet-e kapcsolat a rövidtávú emlékezet és a P300 (kérdés, hogy ez esetben ez a komponens P3b-nek, vagy P3a-nak minősül) amplitúdója és latenciája között.

Mivel a gátlási folyamatok hatékonysága – a szakirodalom szerint – csökken az idősebbeknél, feltételeztük, hogy a „gyors” feladatban az idősök kevésbé tudják gátolni válaszaikat, s ezért megnő téves riasztásaik száma. A gátlás csökkenésének, illetve a frontális funkciók csökkenésének indikátoraként használtuk a szófluencia tesztet is, melyen az időseknél gyengébb teljesítményt vártunk.

## **4.2. Módszer**

### **4.2.1. Kísérleti személyek**

Az elemzésekben 55 személy adata szerepel (39 nő és 16 férfi), akiket életkoruk alapján 5 korcsoportba soroltuk:

(I) 18-29 év (átlagéletkor:  $24,5 \pm 3,1$  év,  $n=12$ )

(II) 30-39 év (átlagéletkor:  $33,2 \pm 2,6$  év,  $n=12$ )

(III) 40-49 év (átlagéletkor:  $43,1 \pm 3,1$  év,  $n=9$ )

(IV) 50-59 év (átlagéletkor:  $53,8 \pm 2,2$  év,  $n=11$ )

(V) 60-70 év (átlagéletkor:  $63,7 \pm 2,1$  év,  $n=11$ ).

A csoportok között a nemek aránya kiegyensúlyozott volt ( $\chi^2=2,177$ ,  $p=0,703$ ).

### **4.2.2. Ingeradás és elvezetés**

Az EEG-t 19 elektróddal, NuAmp erősítőrendszerrel (szűrés: DC – 40 Hz) regisztráltuk. Az elektródok a nemzetközi 10-20-as rendszernek megfelelően voltak felhelyezve. Referenciaként az orrhegyet, földként a homlokot használtuk. Az elektródok ellenállása minden esetben 10 k $\Omega$  alatt volt. Regisztráltuk továbbá a horizontális és a vertikális szemmozgásokat, és az EKG-t is (utóbbit itt nem elemeztük). Az ingeradást a Presentation, az EEG digitalizálását (1000 Hz frekvenciával) és feldolgozását pedig a NeuroScan 4.3 szoftverrel végeztük.

### **4.2.3. Kísérleti helyzet**

A kísérleti ülés alatt a személyekkel több pszichológiai tesztet is felvettünk a figyelem, végrehajtó funkciók, rövid távú emlékezet és az intelligencia vizsgálatára. Ezek a következők voltak: Brickenkamp-féle d2 teszt, szófluencia teszt, Watkins nyomra illeszkedő eljárása, Raven APM. A tesztek rövid leírása a mellékletben található.

Az elektrofiziológiai vizsgálat során a személyek binaurálisan, egy fülhallgatón keresztül 1/s gyakorisággal 50 ms időtartamú hangokat hallottak (80 dB SPL). A személyek kétfajta oddball feladatban vettek részt: egy „két ingeres oddball” és egy „újdonság ingeres oddball” helyzetben.

A két ingeres oddball paradigmában a személyek kétféle hangot hallottak. A magasabb hang után egy gombot kellett lenyomniuk a jobb kezükben lévő joystickon. A hangingerek a „könnyű” helyzetben a következők voltak: mély = 1000 Hz (gyakoriság: 80%), magas = 1100 Hz (gyakoriság: 20%). A „nehéz” helyzetben adott ingerek: mély hang = 1000 Hz (80% gyakoriság), magas hang = 1050 Hz (20% gyakoriság). Mindkét feladatot előzetesen bemutattuk a személyeknek. Amellett, hogy így lehetőségük volt rövid gyakorlásra, és csökkent bizonytalanságuk ebben a számukra idegen helyzetben, mi is meg tudtunk győződni róla, hogy értik a feladatot, s ténylegesen meg tudják különböztetni a hangokat.

Mindkét helyzetet (könnyű, nehéz) kétféle instrukcióval vettük fel. A *pontossági instrukcióban* hangsúlyoztuk, hogy csak a magas hangok után nyomják meg a gombot, a mély hang után semmit sem kell tenniük. Kértük, hogy a feladatot minél pontosabban teljesítsék. A *gyorsasági instrukcióban* a hangsúlyt arra helyeztük, hogy a személyek a magas hangok után minél gyorsabban nyomják meg a gombot. A személyek egyik felénél a pontossági, másik felénél pedig a gyorsasági instrukcióval kezdtünk. A személyek minden blokk után a monitorra kiírva kaptak visszajelzést találataikról, tévesztéseikről és kihagyásaikról.

Az újdonság oddball helyzetben a gyakori hangok (gyakoriság: 85%) frekvenciája 1000 Hz, a ritka hangoké (10%) 1500 Hz volt. Az esetek 5%-ában különböző környezeti zajok szólaltak meg (pl. macskanyávogás, bégetés, telefoncsörgés – újdonság ingerek). A személyeket arra kértük, hogy a magas, és csakis a magas hangok után minél gyorsabban nyomják meg a gombot. Az újdonság ingerekkel kapcsolatban nem kaptak feladatot.

#### **4.2.4. EEG-feldolgozás**

Az EEG-feldolgozást a NeuroScan 4.3 programmal végeztük. A folyamatos üzemmódban rögzített EEG-t FIR sávszűrővel 0,1 Hz és 30 Hz között 48 dB/oct meredekséggel szűrtük, majd 900 ms hosszúságú szakaszokra daraboltuk (-100 ms - + 800 ms). Az alapvonal igazítása az inger előtti intervallum alapján történt. Az így kapott

szakaszokon automatikus ( $\pm 70 \mu\text{V}$ ), majd kézi műtermékszűrést végeztünk. Jelen dolgozatban csak azok az EEG-szakaszok szerepelnek, melyek a magas hangra adott helyes válasznak felelnek meg, illetve az újdonság ingerek által kiváltott válaszok.

A magas hangok által kiváltott potenciálok közül az N1, P2, N2b és P3b komponenseket, az újdonság ingerek által kiváltott potenciálok közül pedig az N2b és P3a komponenseket vizsgáltuk. Hogy ezeket mely korcsoportban milyen latenciartományba eső negatív, illetve pozitív csúcsként definiáltuk, azt a 4.1. és a 4.2. táblázat tartalmazza. Ebben az elemzésben csak a középvonali elektródokon (Fz, Cz, Pz) történt elvezetésekkel foglalkozunk.

Kor	Két ingeres oddball helyzet			
	N1	P2	N2b	P3b
<b>18-29 év</b>	90-190 ms	145-250 ms	190-370 ms	290-610 ms
<b>30-39 év</b>	100-210 ms	170-250 ms	210-360 ms	310-570 ms
<b>40-49 év</b>	110-180 ms	170-260 ms	250-350 ms	320-550 ms
<b>50-59 év</b>	110-190 ms	165-270 ms	250-360 ms	340-590 ms
<b>60-70 év</b>	100-180 ms	170-280 ms	250-400 ms	360-630 ms

4.1. táblázat: Az EKP komponensek két ingeres oddball helyzetben definiált latenciartományai

Kor	Újdonság ingeres oddball helyzet			
	Célingerek		Újdonságingerek	
	N2b	P3b	N2b	P3a
<b>18-29 év</b>	200-270 ms	280-400 ms	190-260 ms	250-400 ms
<b>30-39 év</b>	200-270 ms	280-400 ms	190-260 ms	250-400 ms
<b>40-49 év</b>	200-270 ms	280-400 ms	190-260 ms	300-400 ms
<b>50-59 év</b>	200-270 ms	280-420 ms	200-290 ms	290-430 ms
<b>60-70 év</b>	200-270 ms	310-440 ms	200-290 ms	300-450 ms

4.2. táblázat: Az EKP komponensek újdonság ingeres oddball helyzetben definiált latenciartományai

## 4.2.5. Statisztikai elemzés

Az adatokat a Statistica program 6.1-es verziójával dolgoztuk fel. A csoportok összetételét khi-négyzet próbával vizsgáltuk. A csoportok pszichológiai teszteken elért

eredményeit és a célingerekre adott válaszadás pontosságát egyszempontos varianciaanalízissel hasonlítottuk össze. A reakcióidő adatokat többszempontos, ismételt mérések varianciaanalízissel vizsgáltuk. A szempontok (1) a korcsoport (5 szint), (2) a helyzet (2 szint: könnyű, nehéz), és (3) az instrukció (2 szint: pontos, gyors) voltak. Az egyes komponensek latenciájával és amplitúdójával kapcsolatos statisztikai elemzést is többszempontos varianciaanalízissel végeztük. A bevont szempontok (1) a korcsoport (5 szint), (2) a helyzet (2 szint: könnyű, nehéz), (3) az instrukció (2 szint: pontos, gyors) és (4) az elektródok voltak (3 szint: Fz, Cz, Pz). Amikor szükséges volt, Greenhouse-Geisser korrekciót alkalmaztunk – ezekben az esetekben a  $p$  a korrigált értéket jelenti. A szignifikáns főhatások esetében a páronkénti összehasonlításokat Tukey post hoc teszttel végeztük. Az N2b és a P3b latenciájának életkori változásának vizsgálatára lineáris regressziót alkalmaztunk. Azt, hogy a korcsoportok latencia értékeire milyen függvény illeszkedik legjobban, kontraszt elemzéssel néztük meg. A komponensek latenciájának és amplitúdójának kapcsolatát a reakcióidővel Pearson-féle lineáris korrelációval vizsgáltuk.

### **4.3. Eredmények**

#### **4.3.1. Pszichológiai tesztek**

A kognitív tesztek eredményei a 4.3. táblázatban láthatók. Az időkorlással felvett Raven tesztre adott helyes válaszok száma szignifikánsan csökkent az idősebbeknél ( $F[4,52]=16,432$ ;  $p<0,001$ ). A számterjedelemmel mért rövidtávú memóriában nem volt szignifikáns különbség a csoportok között. A figyelmi teljesítményben kor főhatás volt megfigyelhető ( $F[4,52]=4,979$ ;  $p=0,002$ ): az életkorral csökkent a helyesen átnézett jelek száma, leggyengébben az 50-59 évesek teljesítettek ( $p(I-IV)=0,006$ ;  $p(II-IV)=0,007$ ). A tévesztések számában azonban nem különböztek a csoportok. A szófluencia tesztben a fluenciában nem különböztek a csoportok. Különbséget a perszeverációk mennyiségében kaptunk. Amikor bármilyen hanggal kezdődhetett a szó, az idősebbeknél többször fordult elő ismétlés ( $F[4,46]=2,656$ ;  $p=0,045$ ).

	18-29 év		30-39 év		40-49 év		50-59 év		60-70 év	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1. Életkor	24,5	3,1	33,2	2,6	43,1	3,1	53,8	2,2	63,7	2,1
2. Nők	9		8		8		7		7	
3. Férfiak	3		4		1		4		4	
4. Raven	26,33	5,7	27,50	5,5	19,67	5,1	17,00	6,1	11,91	5,0
5. d2	426,83	55,2	425,50	83,2	414,44	44,7	334,91	44,4	365,36	59,5
6. WM	6,32	1,3	5,93	0,9	5,83	0,8	6,00	1,3	5,53	1,0
7. Fl-k	37,83	11,9	37,00	10,7	33,78	6,8	30,91	6,7	36,27	9,2
8. Fl-s	30,58	8,3	29,92	6,1	28,00	6,2	27,45	7,6	27,45	10,4
9. Fl-mind	59,83	17,5	55,08	15,6	57,89	20,2	57,64	16,3	60,00	18,7
10. P-k	1,25	1,4	2,42	1,9	1,89	2,0	3,09	3,3	3,73	2,5
11. P-s	1,83	2,1	2,25	3,0	2,11	1,9	3,18	1,7	3,82	2,2
12. P-mind	0,67	0,8	2,08	1,9	1,44	1,2	1,73	1,8	4,36	5,3

4.3. táblázat: A kísérleti személyek adatai. Az életkor években (1), a nők (2) és a férfiak száma (3). A nyers Raven pontszám (4). A d2 teszten helyesen átnézett jelek száma (5). A Watkins teszttel mért számterjedelem (6). Szófluencia, ha a szó k-val (7), s-sel (8) vagy bármilyen betűvel (9) kezdődhetett. A perszeverációk száma k (10), s (11) bármilyen betű (12) esetén.

#### 4.3.2. A célingerekre adott válaszadás pontossága

A csoportok nem különböztek abban, hogy hány ingerre válaszoltak helyesen. Életkori hatás mutatkozott viszont a téves riasztások számában a két ingeres oddball helyzetben ( $F[4,52]=4,979$ ;  $p=0,002$ ): a legidősebb csoport szignifikánsan többször jelzett a mély hangoknál, mint bármely másik csoport (a Tukey-teszt eredménye a legfiatalabbaktól kezdve:  $p(I-V)=0,006$ ;  $p(II-V)=0,005$ ;  $p(III-V)=0,012$ ;  $p(IV-V)=0,027$ ). Az újdonság oddball helyzetben ilyen különbséget nem találtunk. A találatok és téves riasztások korcsoportonkénti megoszlása az egyes helyzetekben a 4.4. táblázatban található.

	18-29 év		30-39 év		40-49 év		50-59 év		60-70 év	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
<b>Két ingeres oddball helyzet: könnyű, pontos</b>										
RI	415,96	83,8	372,67	86,4	388,37	65,1	380,08	45,4	374,62	41,2
T	99,00	3,4	98,5	4,2	98,44	2,6	99,82	0,6	99,46	1,2
TR	0,16	0,6	0,50	1,0	0,66	1,0	2,52	6,0	6,18	8,6
<b>Két ingeres oddball helyzet: könnyű, gyors</b>										
RI	375,64	55,9	344,78	54,5	373,63	70,0	392,21	46,1	368,51	49,9
T	99,34	1,4	99,16	2,4	98,88	1,8	85,82	31,0	98,72	1,6
TR	2,00	4,0	1,50	2,2	2,00	2,4	0,72	1,0	2,90	1,8
<b>Két ingeres oddball helyzet: nehéz, pontos</b>										
RI	422,16	65,7	393,20	71,9	421,80	56,8	419,05	53,7	421,17	70,5
T	97,0	8,0	96,66	8,0	98,66	1,8	98,00	4,4	97,28	4,0
TR	0,84	1,8	0,66	1,4	0,00	0,0	1,10	2,4	4,18	5,8
<b>Két ingeres oddball helyzet: nehéz, gyors</b>										
RI	400,49	58,0	376,40	59,6	415,59	79,7	439,77	75,2	422,61	72,4
T	98,72	3,0	97,5	6,8	99,26	1,4	87,82	26,6	94,90	7,0
TR	0,36	0,8	0,84	1,4	0,76	1,0	1,28	1,8	3,28	2,0
<b>Újdonság ingeres oddball helyzet</b>										
RI	416,08	53,8	390,37	28,0	416,92	62,5	437,89	60,6	411,20	54,1
T	95,0	14,2	99,00	2,4	99,12	1,4	98,00	3,6	98,60	1,6
TR	2,0	0,0	2,16	0,6	2,00	0,0	2,36	0,8	2,20	0,6

4.4. táblázat: Viselkedései adatok. RI: reakcióidő ms-ban, T: találatok (%), TR: téves riasztások (%).

### 4.3.3. Reakcióidő

A két ingeres oddball helyzetben nem különbözött szignifikánsan a reakcióidő az öt korcsoportban (4.4. táblázat). A könnyebb helyzethez képest a nehezebb feladatban nőtt a reakcióidő ( $F[1,52]=74,230$ ;  $p<0,001$ ). Az egyes csoportokban eltérő mértékű volt a változás, tendencia szinten helyzet x csoport interakciót kaptunk ( $F[4,52]=2,425$ ;  $p=0,060$ ). A nehezebb feladatban a három idősebb csoport reakcióideje nőtt meg szignifikánsan a könnyű helyzethez képest:  $p(\text{III})=0,008$ ;  $p(\text{IV})=0,001$ ;  $p(\text{V})<0,001$ .

Az instrukció nem befolyásolta a reakcióidőt. Annak, hogy pontossági vagy gyorsasági instrukcióval kezdődött a kísérlet, szintén nem volt szignifikáns főhatása a reakcióidőkre. Az instrukció x csoport interakció tendencia szintű volt ( $F[4,52]=2,140$ ;  $p=0,089$ ). A két fiatalabb csoportnál a gyorsasági instrukciónál valamivel rövidebb volt a

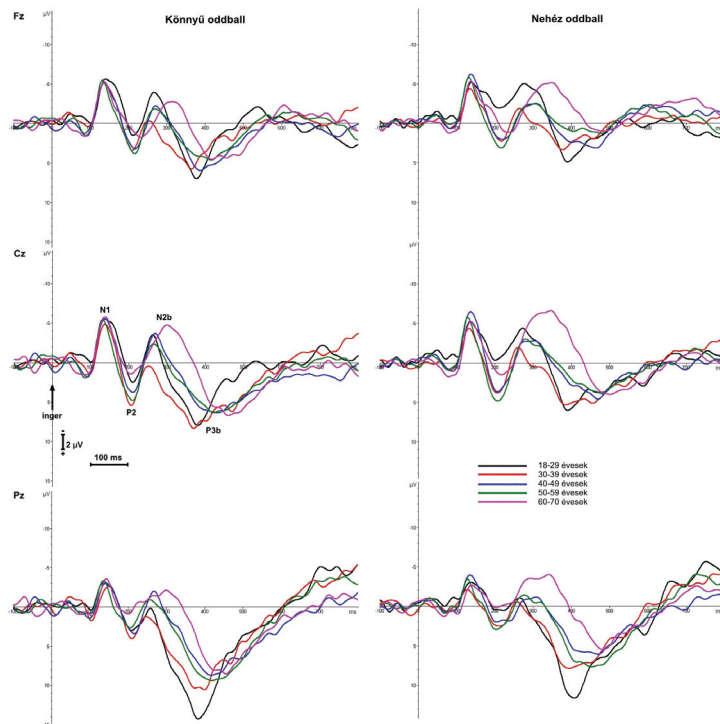


reakcióidő (nem volt szignifikáns a különbség), míg a többi csoportnál ennyi hatása sem volt az instrukciónak. Az instrukció x helyzet x csoport interakció nem volt szignifikáns.

Az újdonság ingeres oddball helyzetben csoportok közötti különbséget nem találtunk. A reakcióidő ebben a helyzetben szignifikánsan hosszabb volt, mint a két ingeres oddball feladat könnyű helyzetében ( $p < 0,001$ ).

#### 4.3.4. Eseményhez kötött agyi potenciálok – két ingeres oddball helyzet

A hangingerek hatására megjelentek az eseményhez kötött potenciál komponensei. Ezek nagytalalai az egyes korcsoportokban az 4.1. ábrán láthatók.



4.1. ábra: A két ingeres oddball helyzetben a célingerek által kiváltott agyi potenciálok az öt korcsoportban. Bal oldalon a könnyű, jobb oldalon a nehéz feladat (Fz, Cz, Pz elektródákon). Az inger 0 ms-nál érkezett (y tengely).

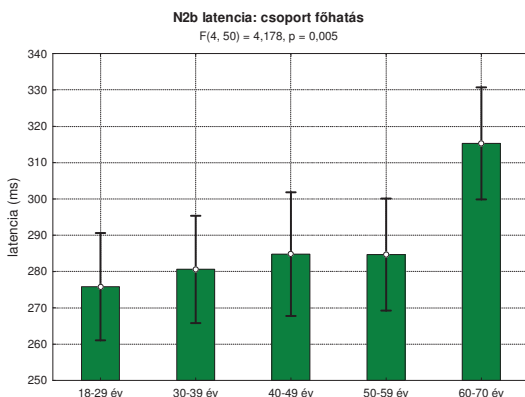
#### 4.3.4.1. A célingerek által kiváltott N1 és P2 komponens

Az N1 komponens latenciáját és amplitúdóját nem befolyásolta az életkor. Amplitúdó maximumát frontocentrálisan érte el ( $F[2,100]=42,036$ ;  $p<0,001$ ), az egyes korcsoportok nem különböztek az eloszlás tekintetében.

A P2 komponens latenciája és amplitúdója sem változott az életkorral. Amplitúdója centroparietálisan érte el maximumát ( $F[2,100]=2,878$ ;  $p=0,061$ ).

#### 4.3.4.2. A célingerek által kiváltott N2b komponens

Az N2b komponens latenciája szignifikánsan nőtt az életkorral ( $F[4,50]=4,178$ ;  $p=0,005$ , 4.2. ábra). A post hoc tesztel szignifikáns növekedés a legidősebb csoportban volt kimutatható a két legfiatalabb csoporthoz képest ( $p(I-V)=0,005$ ;  $p(II-V)=0,016$ ). A latencia évekre lebontott növekedését a 4.5. táblázat tartalmazza. Az N2b latenciája változott a feladat nehézségével is: a nehezebb feladatban megnőtt az értéke ( $F[1,50]=28,802$ ;  $p<0,001$ ).



4.2. ábra: A két ingeres oddball helyzetben kiváltott N2b komponens latenciája: csoport főhatás. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

<b>Feladathelyzet:</b>	<b>N2b: latencianövekedés a Cz elektrodon</b>	<b>P3b: latencianövekedés a Pz elektrodon</b>
Könnyű, pontossági instrukció	0,81 ms/év	1,43 ms/év
Könnyű, gyorsasági instrukció	0,53 ms/év	1,03 ms/év
Nehéz, pontossági instrukció	1,19 ms/év	2,54 ms/év
Nehéz, gyorsasági instrukció	1,44 ms/év	1,63 ms/év

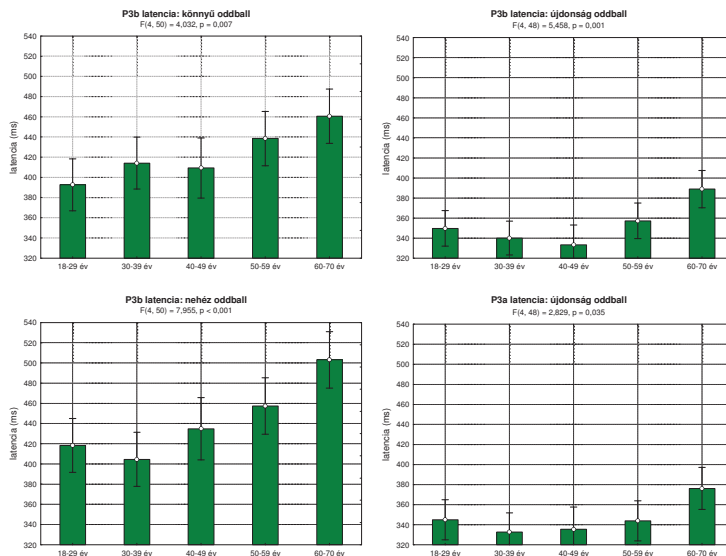
4.5. táblázat: Az N2b és a P3b latenciájának növekedése az életkorral

Az N2b amplitúdója esetén csoport főhatást nem találtunk. Az N2b frontocentrális eloszlású volt ( $F[2,100]=25,149$ ;  $p<0,001$ ), fiataloknál frontálisabb, míg a többi csoportban egyenletesebb eloszlást mutatott ( $F[8,100]=3,304$ ;  $p=0,002$ ).

#### 4.3.4.3. A célingerek által kiváltott P3b komponens

A P3b komponens latenciája a nehezebb feladatban hosszabb volt ( $F[1,50]=34,079$ ;  $p<0,001$ ). Szignifikánsan nőtt a latencia az életkorral ( $F[4,50]=6,056$ ;  $p<0,001$ , 4.3. ábra). A post hoc teszt alapján a legidősebb csoport különbözött szignifikánsan a három legfiatalabbtól ( $p(I-V)=0,001$ ;  $p(II-V)=0,002$ ;  $p(III-V)=0,028$ ). Szignifikáns instrukció x helyzet x csoport interakció nem volt.

Ha a szakirodalomban szokásos módon a latenciát az életkor függvényében ábrázoljuk, s egyenest illesztünk az így kapott pontokra, megkapjuk, hogy milyen mértékű a latencianövekedés az egyes helyzetekben, ha lineáris változást feltételezünk. A kapott értékeket a 4.5. táblázat tartalmazza. Ha viszont a két helyzetet külön elemezzük kontraszt analízissel, azt találjuk, hogy míg az egyszerű feladatban csak a lineáris trend szignifikáns ( $t=3,861$ ;  $p<0,001$ ), addig a nehéz helyzetben egy lineáris ( $t=5,166$ ;  $p<0,001$ ) és egy négyzetes ( $t=2,104$ ;  $p=0,040$ ) egyenlet is jól illeszthető az adatokra. A kétféle helyzetben a P3b latencia változása a 4.3. ábrán látható.

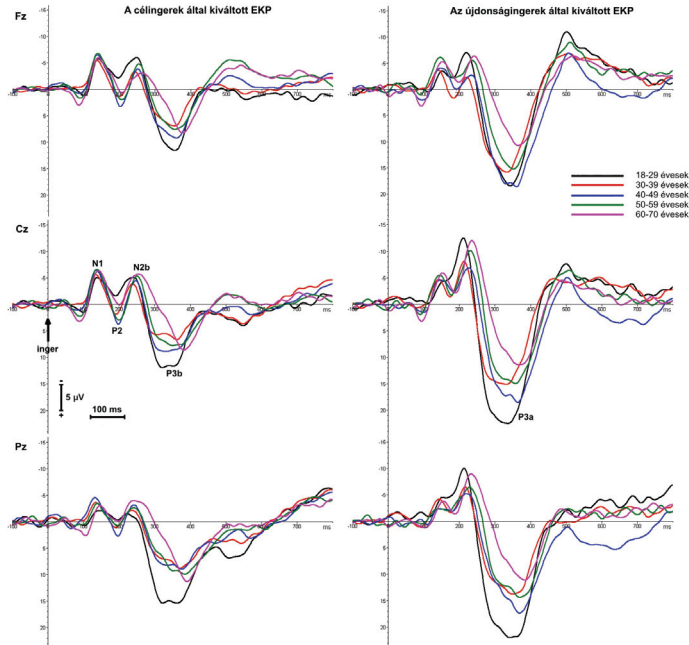


4.3. ábra: A P3 komponensek latenciája. Csoport főhatás. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot mutatják. (A) P3b latencia a könnyű két ingeres oddball helyzetben, (B) P3b latencia a nehéz két ingeres oddball helyzetben, (C) P3b latencia az újdonság ingeres oddball feladatban, (D) P3a latencia az újdonság oddball feladatban. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

A P3b amplitúdójára nem kaptunk csoport főhatást. Az amplitúdó különbözött a kétféle helyzetben: a nehezebb feladat során kisebb volt ( $F[1,50]=20,540; p<0,001$ ). A helyzet és a csoport között viszont nem találtunk interakciót. Az instrukció szignifikánsan nem befolyásolta a P3b nagyságát, tendencia szinten viszont instrukció x csoport interakciót kaptunk ( $F[4,50]=2,164; p=0,087$ ): az amplitúdó értékek minden csoportban és instrukciónál hasonlóak voltak, kivéve, hogy a fiataloknál valamivel nagyobb volt az amplitúdó a gyorsasági instrukció esetén. A P3b amplitúdója parietális maximumú volt ( $F[2,100]=84,104; p<0,001$ ) minden korcsoportban.

### 4.3.5. Eseményhez kötött agyi potenciálok – újdonság oddball helyzet

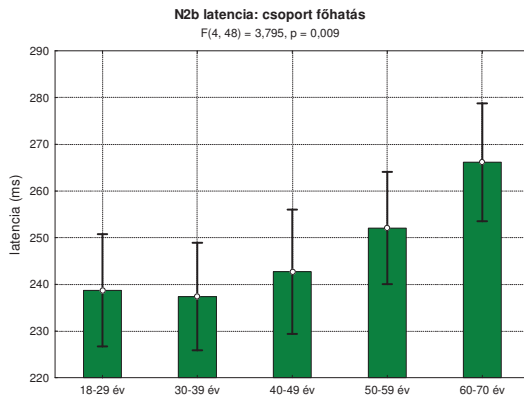
Az újdonság oddball helyzet nagytalagai a 4.4. ábrán láthatók.



4.4. ábra: EKP az újdonság ingeres oddball helyzetben a középiloni elektródokon. Bal oldalon a célingerekre, jobb oldalon az újdonságíngerekre adott válasz látható. Az inger 0 ms-nál (y tengely) érkezett.

#### 4.3.5.1. A célingerek által kiváltott N2b komponens

Az N2b komponens latenciája nőtt az életkorral ( $F[4,48]=3,795$ ;  $p=0,009$ , 4.5. ábra). Az oddball helyzethez hasonlóan, szignifikáns különbség a legidősebb és a két legfiatalabb csoport között volt ( $p(I-V)=0,022$ ;  $p(II-V)=0,012$ ).



4.5. ábra: A célingerekre megjelenő N2b komponens latenciája: csoport főhatás. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

Az N2b amplitúdójában nem különböztek a csoportok. Eloszlása frontocentrális volt ( $F[2,96]=6,573$ ;  $p=0,002$ ). Míg a fiataloknál frontálisan, az idősebbeknél inkább centrális amplitúdó maximummal jelentkezett.

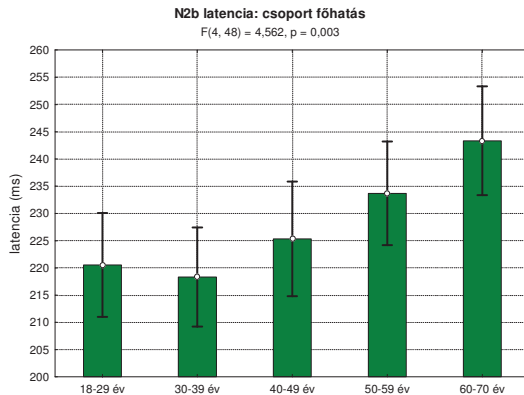
#### 4.3.5.2. A célingerek által kiváltott P3b komponens

A P3b komponens latenciájára szignifikáns csoport főhatást kaptunk ( $F[4,48]=5,458$ ;  $p=0,001$ , 4.3. ábra). A post hoc teszt alapján a legidősebbek és a három legfiatalabb csoport között volt szignifikáns eltérés ( $p(I-V)=0,028$ ;  $p(II-V)=0,003$ ;  $p(III-V)=0,001$ ). A latencia életkorfüggő alakulása eltért a két ingeres oddball helyzetben tapasztaltaktól, ahol egyértelműen növekedést láhattunk. Itt a 40-49 éves csoport felé haladva csökkent a latencia, majd ott ismét emelkedni kezdett (nem szignifikáns különbségek). A változásra egy lineáris ( $t=3,377$ ;  $p=0,001$ ) és egy négyzetes ( $t=3,291$ ;  $p=0,002$ ) trend is illeszthető.

A P3b amplitúdója parietális eloszlású volt ( $F[2,96]=15,770$ ;  $p<0,001$ ). A csoport főhatás tendencia szintű volt ( $F[4,48]=2,386$ ;  $p=0,064$ ), szignifikáns különbség a legfiatalabbak és az 50-59 évesek között adódott ( $p=0,049$ ).

#### 4.3.5.3. Az újdonságingerek által kiváltott N2b komponens

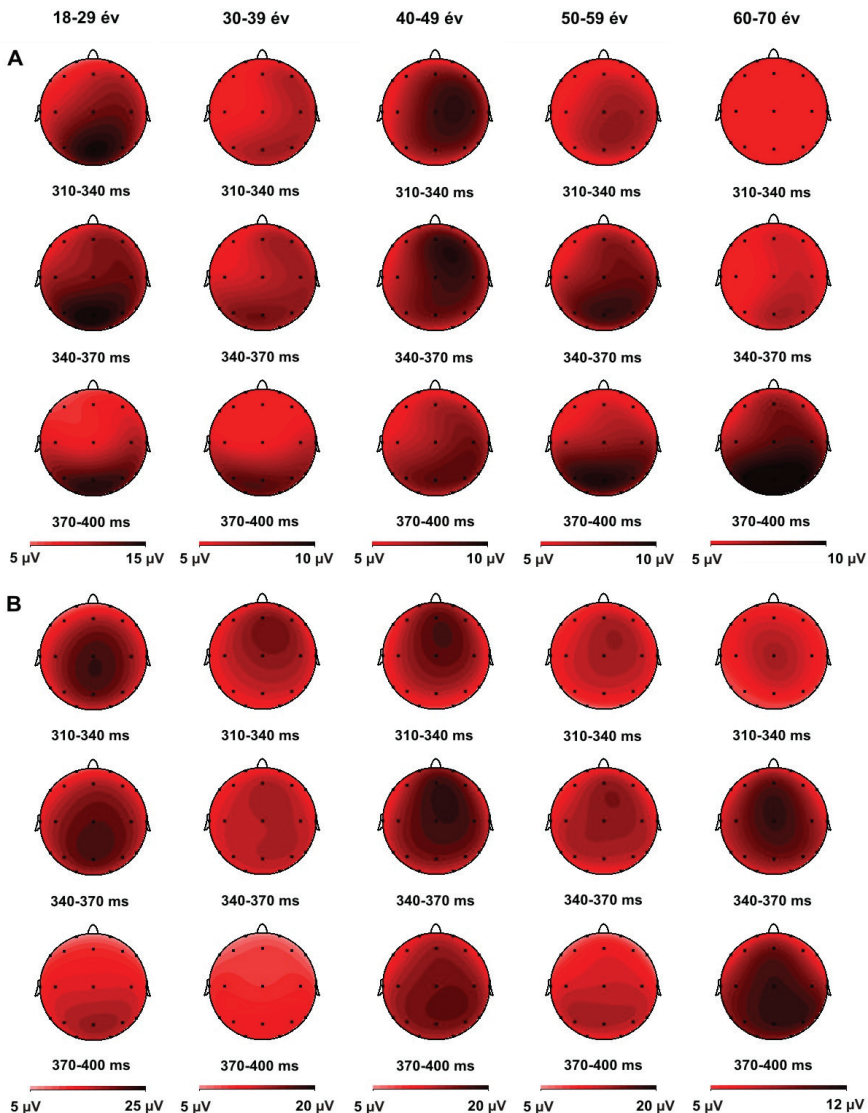
Az N2b komponens latenciája ebben a helyzetben is nőtt az életkorral ( $F[4,48]=4,562$ ;  $p=0,003$ , 4.6. ábra), a legidősebbek esetén a latencia szignifikánsan hosszabb volt a két fiatal csoportnál mért értékeknél ( $p(I-V)=0,014$ ;  $p(II-V)=0,005$ ). Az amplitúdó mindegyik csoportnál frontális maximummal jelentkezett ( $F[2,96]=19,489$ ;  $p<0,001$ ).



4.6. ábra: Az újdonságingerekre megjelenő N2b komponens latenciája: csoport főhatás. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

#### 4.3.5.4. Az újdonságingerek által kiváltott P3a komponens

A P3a komponens latenciája növekedett az életkorral ( $F[4,48]=2,829$ ;  $p=0,035$ , 4.3. ábra). Szignifikáns különbség a 30-39 és a 60-70 évesek között volt ( $p=0,027$ ). A változásra szignifikánsan egy lineáris ( $t=2,305$ ;  $p=0,026$ ), és egy négyzetes trend illeszthető ( $t=2,449$ ;  $p=0,018$ ).



4.7. ábra: A P3b (A) és a P3a (B) komponensek eloszlástérképe az újdonság oddball helyzetben három latencia tartományban az öt korcsoportban. Az amplitúdó skálák az egyes csoportokban nem azonosak, mert az életkori különbségek az amplitúdó nagyságában az ábrázolás során elfednék az eloszlásbeli változásokat.



A P3a amplitúdója csökkent az életkorral ( $F[4,48]=4,665$ ;  $p=0,003$ ). Szignifikáns csökkenés a 18-29 évesekhez képest az 50-59 ( $p=0,013$ ), és a 60-70 éveseknél ( $p=0,004$ ) volt. A korcsoport  $\times$  elektród interakció alapján a komponens a legfiatalabbaknál parietális, az idősebbeknél frontocentrális eloszlású volt ( $F[8,96]=2,019$ ,  $p=0,052$ ).

Míg a P3b komponens amplitúdójának esetében a csoport főhatás csak tendencia szintű volt ( $p=0,064$ ), a P3a esetében szignifikáns volt a hatás ( $p=0,003$ ). Mégsem mondhatjuk, hogy az életkor jobban érintette volna a P3a-t, mivel a két komponens és a csoportok közötti interakció nem volt szignifikáns. A P3b és P3a komponensek eloszlásváltozásának különbsége figyelhető meg a 4.7. ábrán. Míg a P3b parietális maximumú, a P3a esetén egy korai frontális csúcs után (a 310-370 ms-os tartományban) parietális maximum figyelhető meg (370-400 ms).

#### **4.3.6. A pszichológiai tesztek és az EKP komponensek kapcsolata**

A következőkben azt vizsgáltuk, hogy a kísérleti személyek teszteredményei, és így az általuk mért pszichológiai folyamatok – korcsoporttól függetlenül – összefüggésben állnak-e az egyes EKP komponensek paramétereivel.

##### **4.3.6.1. A rövid távú memória és a P3 komponensek korrelációja**

A rövid távú memória (RTM) terjedelmének és a különböző helyzetekben kiváltott P3 komponensek latenciájának és amplitúdójának korrelációit a 4.6. táblázat tartalmazza. Látható, hogy az oddball helyzetben kiváltott P3b latenciája negatív korrelációban állt a számterjedelemmel, azaz azoknál volt rövidebb a latencia, akik több számot tudnak visszamondani. Az amplitúdóval a legegyszerűbb helyzetben (könnyű oddball pontossági instrukcióval) nem korrelált az RTM terjedelme, a másik három helyzetben viszont pozitív korrelációban állt. Frontocentrálisan pozitív korrelációban volt a számterjedelemmel az újdonság ingereket tartalmazó helyzetben kiváltott P3b is, míg a P3a szignifikáns korrelációt nem mutatott. E két komponens esetében nem volt összefüggés az RTM és a latencia között.

	Oddball helyzet				Oddball helyzet újdonság ingerekkel	
	P3b – könnyű, pontos	P3b – könnyű, gyors	P3b – nehéz, pontos	P3b – nehéz, gyors	P3a	P3b
Fz - amplitúdó	0,07	<b>0,37</b>	<b>0,32</b>	<b>0,27</b>	0,24	<b>0,33</b>
Cz - amplitúdó	0,21	<b>0,34</b>	<b>0,41</b>	0,24	0,26	<b>0,29</b>
Pz - amplitúdó	0,15	<b>0,34</b>	<b>0,35</b>	<b>0,32</b>	0,24	0,25
Fz - latencia	<b>-0,29</b>	<b>-0,33</b>	-0,22	<b>-0,30</b>	-0,08	-0,15
Cz - latencia	<b>-0,37</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,35</b>	-0,18	-0,13
Pz - latencia	<b>-0,27</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,27</b>	<b>-0,44</b>	-0,03	-0,22

4.6. táblázat: A számterjedelem és az egyes komponensek latenciájának, amplitúdójának korrelációi. A vastag betűtípussal szedett eredmények jelzik a szignifikáns korrelációt.

#### 4.3.6.2. A fluid intelligencia és a P3b komponens korrelációja

A fluid intelligenciát ebben a kutatásban a Raven APM segítségével vizsgáltuk. A teszten elért pontszám és az egyes helyzetekben kiváltott P3b komponensek latenciájának, illetve amplitúdójának korrelációja a 4.7. és 4.8. táblázatban látható. A latencia minden esetben szignifikáns negatív korrelációban állt a tesztpontszámmal. A P3b amplitúdója az oddball helyzetben a maximumának megfelelő Cz és Pz elektródokon mutatott szignifikáns pozitív korrelációt a Raven pontszámmal. Az újdonság ingereket tartalmazó helyzetben ilyen kapcsolat nem jelentkezett.

	Oddball helyzet				Oddball helyzet újdonság ingerekkel
	Könnyű, pontos	Könnyű, gyors	Nehéz, pontos	Nehéz, gyors	
Fz	<b>-0,27</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,35</b>
Cz	<b>-0,34</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,36</b>
Pz	<b>-0,36</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,41</b>

4.7. táblázat: A Raven teszten elért pontszám és a P3b latenciájának korrelációja. A vastag betűtípussal szedett eredmények jelzik a szignifikáns korrelációt.

	Oddball helyzet				Oddball helyzet újdonság ingerekkel
	Könnyű, pontos	Könnyű, gyors	Nehéz, pontos	Nehéz, gyors	
Fz	0,14	0,20	0,14	0,13	0,15
Cz	<b>0,28</b>	<b>0,27</b>	0,26	<b>0,28</b>	0,22
Pz	<b>0,34</b>	<b>0,34</b>	<b>0,36</b>	<b>0,45</b>	0,24

4.8. táblázat: A Raven teszten elért pontszám és a P3b amplitúdójának korrelációja. A vastag betűtípussal szedett eredmények jelzik a szignifikáns korrelációt.

### 4.3.6.3. A figyelmi teljesítmény és az N2b komponens korrelációja

A figyelmi teljesítményt a Brickenkamp-féle d2 teszten hibátlanul átnézett jelek számával jellemeztük. Korrelációja az N2b komponens latenciájával, amplitúdójával a 4.9. és a 4.10. táblázatban szerepel. Az N2b frontocentrális eloszlású, az ennek megfelelő Fz és Cz elektródokon majdnem minden esetben szignifikáns negatív korrelációban állt latenciája a figyelmi teljesítménnyel. Az N2b amplitúdója – egy eset kivételével – nem mutatott szignifikáns korrelációt az átnézett jelek számával.

	Oddball helyzet				Oddball helyzet újdonság ingerekkel	
	Könnyű, pontos	Könnyű, gyors	Nehéz, pontos	Nehéz, gyors	Célinger	Újdonságinger
Fz	-0,26	<b>-0,44</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,45</b>	-0,26
Cz	-0,21	<b>-0,41</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,50</b>
Pz	-0,23	<b>-0,32</b>	-0,22	-0,24	<b>-0,35</b>	<b>-0,27</b>

4.9. táblázat: A Brickenkamp-féle d2 teszten hibátlanul átnézett jelek száma és az N2b latenciájának korrelációja. A vastag betűtípussal szedett eredmények jelzik a szignifikáns korrelációt.

	Oddball helyzet				Oddball helyzet újdonság ingerekkel	
	Könnyű, pontos	Könnyű, gyors	Nehéz, pontos	Nehéz, gyors	Célinger	Újdonságinger
Fz	-0,22	<b>-0,31</b>	-0,25	-0,21	-0,16	-0,12
Cz	-0,15	-0,22	-0,12	-0,12	-0,17	-0,11
Pz	-0,09	-0,13	-0,11	-0,06	-0,14	-0,13

4.10. táblázat: A Brickenkamp-féle d2 teszten hibátlanul átnézett jelek száma és az N2b amplitúdójának korrelációja. A vastag betűtípussal szedett eredmény jelzi a szignifikáns korrelációt.

## 4.4. Megbeszélés

### 4.4.1. Pszichológiai tesztek és viselkedéses adatok

Más kutatásokkal összhangban (Salthouse, 1996; Salthouse, 1996; Isingrini és Vazou, 1997), a kognitív teszteken elért eredmények romlottak az életkorral. A Raven APM-en elért pontszám csökkent az életkor függvényében. Az idősebbek a fiatalokhoz hasonló számú döntést hoztak (nem volt kötelező minden táblára választ adni), de ezek több esetben voltak hibásak. A teszt a megfigyelőképességet, a gondolkodást vizsgálja, azt

hogy valaki milyen mértékben találja meg a káoszban a rendet. A fluid intelligencia vizsgálataként fogható fel, mely az új problémák megoldásának képességét jelzi. Több szerző (pl. Botwinick, 1977, idézi (Czigler, 2000) igazolta már az intelligencia e területének érzékenységet az öregedési hatásokra.

A rövidtávú memóriát Watkins eljárásával vizsgáltuk. Nem találtunk különbséget a csoportok között. Ez azért is említést érdemel, mert sok tanulmány szerint a munkamemóriában tapasztalható hanyatlás felelős a kognitív teljesítmény életkori változásáért (Fisk és Warr, 1996; Hartman és mtsai, 2001; Fisk és mtsai, 1996). Többen az emlékezeti terjedelem csökkenését találták az időseknek (Dobbs és Rule, 1989; Fisk és mtsai, 1996; Salthouse, 1990), bár egyes szerzők szerint a változás inkább a „központi végrehajtót” érinti (Salthouse, 1994).

Az életkorral nem csak az emlékezeti, hanem a figyelmi teljesítmény is hanyatlik (Fisk és mtsai, 1996; Dobbs és mtsai, 1989). A Brickenkamp-féle d2 teszten rosszabb eredményt értek el az idősebb személyek. Elképzelhető, hogy az idősök konzervatívabb válaszkritériumot használnak, több információra van szükségük a válaszadáshoz, gyakran újraértékelik még a választ a reakció előtt (Botwinick és mtsai, 1985, Somberg, 1982, idézi Czigler, 2000), de a központi idegrendszer feldolgozó folyamatainak lassulásával is magyarázhatjuk a teljesítmény romlását egy ennyire gyorsan végrehajtandó feladatban.

A gátlási folyamatok hatékonyságát a szófluencia teszttel, és az oddball helyzetben elkövetett téves riasztások számával vizsgáltuk. A fluenciában nem különböztek a csoportok, a perszeverációk száma azonban magasabb volt az időseknek. Ezeknél a személyeknél nőtt a téves riasztások száma is a reakcióidő feladatban, kevésbé tudták gátolni a helyzetnek nem megfelelő válaszokat. Ez jelzi, hogy a frontális lebenyhez köthető funkciók egy része – mint az alternatív válaszok generálása – a 70 év alatti egészséges személyeknél még ép, bár gátló folyamataik már hanyatlanak.

#### **4.4.2. N1 és P2 komponensek**

Elsődleges célunk az volt, hogy az akusztikus oddball feladatban vizsgáljuk az EKP öregedéssel kapcsolatos változásait. Várakozásunknak megfelelően, minél későbbi volt egy komponens, annál valószínűbb volt, hogy megváltoznak az azt jellemző paraméterek az életkor előrehaladtával, jelezve, hogy a kognitív folyamatokat az öregedés jobban érinti, mint a szenzoros perceptuális rendszereket (Iragui és mtsai, 1993).

Az N1 és P2 komponensek estében nem találtunk kor főhatást sem a latenciában, sem az amplitúdóban. Ezek az eredmények jól beilleszthetők a – korántsem egybehangzó – szakirodalmi adatok közé. Az esetek többségében nem mutattak ki az N1-hez kapcsolódó életkori hatást (Iragui és mtsai, 1993; Barrett és mtsai, 1987; Picton és mtsai, 1984). A P2 komponens funkcionális jelentőségére vonatkozólag jelenleg még igen kevés adat áll rendelkezésre ahhoz, hogy adatainkat kielégítően értelmezni tudjuk. A P2 a fiataloknál parietálisan, az idősebbeknél egyre frontálisabban jelent meg. Hasonló eloszlást találtak Anderer és mtsai (1996), valamint Friedman és mtsai is (1993). Más szerzők viszont nem találtak változást a P2 eloszlásában (Iragui és mtsai, 1993; Picton és mtsai, 1984).

#### **4.4.3. N2b komponens**

Az N2b komponens latenciája nőtt az életkorral, illetve a feladat nehézségével is. Más kutatók is hasonló eredményekre jutottak (Amenedo és mtsai, 1998; Anderer és mtsai, 1996). Verleger és mtsai (1991) szerint ebben az esetben az emlékezeti összehasonlítás folyamatai késnek az időseknél. Elképzelhető az is, hogy az idősebbek számára – a fiatalokhoz képest – nehezebb volt a feladat. Az N2b komponens kapcsolatban állhat a kiváltó ingerekre irányuló figyelmi orientációval is. Azoknál a személyeknél, akiknek jobb volt a figyelmi teljesítménye a d2 teszten, rövidebb volt az N2b latenciája.

Az N2b amplitúdója jelezheti, hogy a figyelmi működések miként tudják egy adott inger feldolgozását biztosítani (Czigler, 2000). Ebben nem találtunk változást az életkorral. A Pearson-féle lineáris korrelációval a figyelem és az N2b amplitúdója között nem találtunk kapcsolatot. Természetesen utóbbinak az is lehet az oka, hogy két különböző helyzetben és időpontban mért figyelmi teljesítményt hasonlítottunk össze.

Az N2b eloszlása viszont megváltozott az életkorral. A fiataloknál frontálisabb, az idősebbeknél centrálisabb maximumú volt. Hasonló változást leírtak más szerzők is (pl. Anderer és mtsai, 1996). A jelenség hátterében az állhat, hogy az időseknél a frontális funkcionális háttér már nem áll olyan mértékben rendelkezésre, mint a fiataloknál.

#### 4.4.4. P3b komponens – latencia

A P3b latenciája a nehezebb feladatban hosszabb volt. A latencia nőtt az életkor függvényében, a növekedés mértéke az N2b latenciájának változásánál nagyobb mértékű volt. A legtöbb tanulmányban a P3b latenciájának növekedését írják le (Polich, 1996; Bashore, 1990), ami alátámasztja az általános lassulási elméletet, amennyiben a lassulás a célingerrel kapcsolatos pszichofiziológiai folyamatokat érinti. Verleger és mtsai (Verleger és mtsai, 1991) szerint a latencianövekedés hátterében az emlékezeti folyamatok működésének lassulása áll. Ezzel összhangban áll az az eredményünk, miszerint az oddball helyzetben a P3b latenciája a legtöbb esetben szignifikáns negatív korrelációt mutatott a rövidtávú emlékezettel, azaz akiknél rövidebb latenciájú volt a P3b komponens, több számot tudtak visszamondani. Az újdonság ingereket tartalmazó oddball helyzetben nem találtunk ilyen összefüggést, aminek az lehet az oka, hogy a standard hang és a célinger között nagy volt a különbség, megkülönböztetésük nem igényelt különösebb erőfeszítést a kísérleti személyektől, illetve nem szabad elfelejtenünk, hogy két egészen eltérő helyzetben mért teljesítményt korreláltattunk, amelyek hátterében csak feltételezhetjük, hogy hasonló folyamatok állnak.

A szakirodalom egy része szerint a P3b latenciája az életkorral lineárisan nő (Polich, 1996; Iragui és mtsai, 1993), mások szerint 45 éves kor körül felgyorsuló változás figyelhető meg (Anderer és mtsai, 1996; Brown és mtsai, 1983). Ennek hátterében a kutatásokban alkalmazott feladatok eltérő nehézségi foka állhat. Kísérletünkben a könnyű oddball helyzetben a P3b latenciája lineáris növekedést mutatott, míg a nehéz feladatban egy másodfokú egyenlet volt illeszthető a változásra. Utóbbi esetben az információ feldolgozó rendszer leterheltsége nagyobb, ami – a könnyű helyzethez hasonlítva – esetleg több folyamatot érinthet, s ezek egymást is lassítva okozhatják a latencia egyre nagyobb mértékű növekedését.

Az újdonság ingereket tartalmazó oddball helyzetben kiváltott P3b komponens latenciája szintén nőtt az életkorral. Ez a változás is egy négyzetes függvénnyel volt leírható, legrövidebb latenciát a középső csoportban találtunk. Ebben a helyzetben ugyan könnyű volt a cél- és a standard inger megkülönböztetése, azonban a közbeiktatott zavaró ingerek kiküszöbölése komplexebbé tette a feladatot, s ezért nagyobb leterheltséget okozhatott. Az a tény, hogy a téves riasztások számában nem különböztek a csoportok, jelzi, hogy a latencia-növekedés hátterében inkább a komplexebb feladat miatt megnövekedett feldolgozási igény áll, s nem a hatástalan gátlási mechanizmusok tehetők

felelőssé. Feltűnő, hogy a P3b latenciája a középkorúaknál volt a legrövidebb. Ez az eredmény azonban statisztikailag nem volt szignifikáns. 60 éves korig – a két ingeres oddball helyzethez hasonlóan – a korcsoportok között nem találtunk szignifikáns különbséget, csak a legidősebbeknél volt hosszabb a latencia a többi csoportban talált értéknel. Ennek egy lehetséges magyarázata, hogy bár a P3b létrehozásáért felelős mechanizmusok hanyatlása már korábban elkezdődhet, a kumulációs hatások csak 60 év felett válnak láthatóvá.

#### **4.4.5. Reakcióidő**

Az ingerfeldolgozás igényeinek változására a P3b latenciáján kívül a reakcióidő is érzékeny. Mindkét változó esetében szignifikáns növekedést tapasztaltunk a nehezebb feladatban. Azonban míg a reakcióidő érzékeny, a P3b viszonylag érzéketlen a válaszszelekció és végrehajtás igényeire (Strayer, Wickens, és Braune, 1987; Kutas, McCarthy, és Donchin, 1977). Kísérletünkben az instrukció (gyorsasági vagy pontossági) nem befolyásolta sem a reakcióidőt, sem a P3b latenciáját.

Adataink szerint – a P3b latenciájával ellentétben – a reakcióidőt nem befolyásolta az életkor. Hasonló eredményt kaptak Picton és mtsai (1984) és Iragui és mtsai (1993) is. Egy lehetséges magyarázat erre az, hogy talán nem volt annyira nehéz a feladat, amely jelentős mértékben változtatta volna meg a reakcióidőt. Egyes megfigyelések szerint ugyanis a reakció lassulása öregedéskor kisebb mértékű az egyszerűbb, mint a nagyobb igénybevételű feladatoknál (Ford, Pfefferbaum, és Kopell, 1982). Másik lehetséges magyarázat, hogy mivel viszonylag sűrűn követték egymást az ingerek (1/s), az idők ebben a helyzetben kevésbé szigorú válaszkritériumot használtak. Inkább vállalták a több hibázást, a reakció viszont így gyors maradt. Ebben az esetben feltételezhetjük, hogy válaszaik kevésbé hatékonyan feldolgozott információn alapultak (Czigler és mtsai, 1994).

Hipotézisünk volt, hogy a reakcióidőben és a P3b latenciában nagyobb lesz a különbség a csoportok között a nehezebb helyzetben (nehéz oddball gyorsasági instrukcióval), mint a könnyebb feladat során (könnyű oddball pontossági instrukcióval). A P3b latenciájának változásában nem találtunk erre utaló változást. A reakcióidő esetében az instrukció x csoport interakció szignifikáns volt, a két fiatalabb csoportban rövidebb volt a reakcióidő a gyorsasági instrukció hatására, míg az idősebbeknél eltűnt ez a különbség. Szignifikáns volt a helyzet x csoport interakció is, jelentős különbség a könnyű és nehéz

feladatban nyújtott teljesítmény között csak a legidősebbeknél jelentkezett. Hármás interakciót (instrukció x helyzet x csoport) viszont itt sem találtunk, így lényegében nem tudtuk igazolni feltevésünket.

#### **4.4.6. P3b komponens - amplitúdó**

A két ingeres oddball helyzetben a P3b komponens amplitúdója csökkent a feladat nehézségével, jelezve a nagyobb kapacitás igényt (Johnson, Jr., 1986). Csoport főhatást nem találtunk Anderer és mtsaihoz (1996) és Brown és mtsaihoz (1983) hasonlóan. A várttal ellentétben nem találtunk helyzet x csoport interakciót sem. E két eredmény alapján úgy tűnik, elvethetjük hipotézisünket, amely szerint az idősebbeknél csökkenek az elérhető kapacitások, s ezek könnyebben el is fogynak a feladat nehézségének függvényében.

A P3b eloszlása sem alakult a várakozások szerint. Számos szerző (Friedman és mtsai, 1997; Verleger és mtsai, 1991) szerint, az életkor növekedésével egyenletesebbé válik az amplitúdó eloszlása, a parietális mellett egy frontális maximum is megfigyelhetővé válik. Az időseknél jelentkező frontális maximum a munkamémória romlásának eredménye lehet, ami miatt az új ingerek reprezentációjának kialakításában nehézségek adódnak (Amenedo és mtsai, 1998). Hogy kísérletünkben ez az eloszlás nem volt megfigyelhető, talán annak köszönhető, hogy legidősebb személyeink átlagéletkora 63,7 év, míg más vizsgálatokban a legidősebbek sokszor 80-90 évesek. Mivel sem a P3b eloszlásában, sem a számtérjedelemben nem találtunk változást az életkorral, nem tudtuk igazolni azt a hipotézisünket, hogy az idősek frontálisabb P3b komponense a hanyatló rövidtávú emlékezettel lenne összefüggésben.

Az újdonság ingereket tartalmazó helyzetben tendencia szinten megjelent a csoport főhatás a P3b amplitúdójára, valószínűleg a komplexebb feladat megváltozott kapacitás igényei miatt. Az eloszlásban azonban itt sem találtunk különbséget a csoportok között.

Mivel a P3b felhasználható a feldolgozási sebesség, a figyelmi kapacitás mozgósításának indexeként, megpróbálhatjuk olyan komplex kognitív jelenségekhez kötni, mint a fluid intelligencia, mely gyors és hatékony feldolgozást igényel (Walhovd és Fjell, 2002). A Raven teszten elért pontszám és az egyes helyzetekben kiváltott P3b latenciája és amplitúdója között majdnem minden esetben szignifikáns korrelációt kaptunk. A jó teljesítménnyel rövid latencia és nagyobb amplitúdó párosult, ami jelzi, hogy a P3b felhasználható a feldolgozás hatékonyságát mérő indexként.



#### 4.4.7. P3a komponens

A P3a latenciája nőtt, amplitúdója csökkent az életkorral. A 30-70 éves csoportokban frontocentrális eloszlású volt, a legfiatalabbaknál viszont parietális maximummal volt látható. Ez az eredmény talán azzal magyarázható, hogy egy kezdeti frontális/centrális P3a-t egy parietális P3b követ az EKP-ban, s az egymással átfedésben álló generátorok különbözőképpen aktiválódnak az egyes életkori csoportokban (Polich és Criado, 2006; Debener és mtsai, 2005). Friedman és mtsai szerint (1998) a P3a komponens anterior és posterior aspektusai háttérben más-más generátorok állnak, melyek eltérő módon aktiválhatók. Bár a hagyományos elképzelés szerint a P3a a figyelmi monitorozás újrairányulásának frontális aktivitását reprezentálja (Barcelo és mtsai, 2000), úgy tűnik, a létrehozásáért felelős idegrendszeri struktúrák ennél több területen találhatóak meg: a frontális, mediális temporális és parietális lebenyekben, valamint az anterior gyrus cinguliban (Friedman és mtsai, 2001; Linden, 2005), mely megmagyarázza, hogy a P3a eloszlása (ahogy kísérletünkben tapasztaltuk) miért nem kizárólag frontális dominanciájú.

A P3a frontális vonatkozása az orientációs folyamatokat tükrözi. Időseknel nehezebb kiváltani, ám ezek a válaszok kevésbé habituálódnak, mint a fiataloknál (Kok, 2000), ami a kevésbé hatékony gátlási folyamatokkal állhat kapcsolatban (Czigler és Balázs, 2005). A P3a latenciája az életkorral nem csak lineáris (ahogy Fjell és Walhovd (2004) javasolja), hanem négyzetes kapcsolatot is mutatott, mely jelzi, hogy egy lineáris függvénnyel leírni ezt a kapcsolatot túlzott egyszerűsítés lenne. A P3b latenciájának változásánál leírtakhoz hasonlóan valószínűsíthetjük, hogy az életkorral a különböző idegrendszeri mechanizmusok eltérő mértékben érintettek, melyek egyidejű igénybevétele a működés változásának felgyorsulását eredményezi, ami a legidősebb korosztályoknál válik nyilvánvalóvá.

Az a tény, hogy a P3a amplitúdója csökkent az életkorral, míg a P3b amplitúdója nem, valamint a latencia-növekedése felgyorsult az életkor előrehaladtával, azzal az elképzeléssel áll összhangban, miszerint az újdonság rendszer a célingerek feldolgozásában résztvevő hálózathoz képest kevésbé redundáns, s ebből következően kisebb a kompenzációs plaszticitása (Linden, 2005).

Összefoglalásul megállapíthatjuk, hogy a megismerési folyamatok az életkorral nem azonos módon változnak. Az EKP komponenseinek vizsgálata alapján arra következtethetünk, hogy a szenzoros-perceptuális rendszerek korai folyamatai viszonylag érintetlenek maradnak, míg a kognitív működésekhez kapcsolódó későbbi folyamatok

nagyobb mértékben változnak meg. Az észlelt különbségeket számos tényező befolyásolhatja – ezek közül fontosnak tűnik a feladat nehézsége. Kevésbé összetett helyzetekben az öregedés hatásai észrevétlenek maradhatnak, míg komplexebb feladatokban hatványozottan jelentkezhetnek, illetve arra következtethetünk, hogy a frontális területek nagyobb szerepét igénylő feladatokban romlik a teljesítmény. A nehezebb feladatokban jelentkező hanyatlás kompenzálható egyéb agyterületek bevonásával, más megoldási stratégiák felhasználásával.

## **5. Vizuális oddball helyzet érzelmi tartalmú ingerekkel**

### **5.1. Bevezetés**

Egyes döntéseink a mindennapi életben a vizuális környezet rendkívül gyors kiértékelésén alapulnak. Evolúciós szempontból adaptív az lehet, ha ez alatt az idő alatt eldöntjük a minket körülvevő ingerekről, hogy biológiai szempontból relevánsak-e. Ennek megfelelően a szerint reagálunk környezetünk ingereire, hogy milyen érzelmi, illetve motivációs relevanciájuk van. Az érzelmek előkészítenek arra, hogy megközelítsünk, vagy elkerüljünk egy ingert (Lang és mtsai, 1997), aminek előfeltétele, hogy az agy néhány 100 ms alatt észlelje az ingerek érzelmi tartalmát. Ez a folyamat tanulmányozható az EKP módszerével.

Az eseményhez kötött potenciálok kiváltására leggyakrabban érzelmi tartamú képeket alkalmaznak, melyeket általában két dimenzió mentén osztályoznak: érzelem (pozitív, semleges, negatív) és arousal (nyugodt, izgatott). Többnyire érzelmeket kifejező arcokat mutatnak, vagy az elterjedten használt International Affective Picture System (IAPS, Lang és mtsai, 2005) komplex jeleneteket bemutató fényképeit.

Ezekhez az érzelmi tartalmú képekhez kapcsolódóan az EEG-ben megjelennek az EKP azon komponensei, melyek a nem érzelmi vizuális feladatokban alkalmazott képek esetén is megfigyelhetők. A kérdés ebben az esetben, hogy az érzelmi töltet észlelése hogyan befolyásolja ezeket a komponenseket, a feldolgozás mely szakaszaira van hatással. A kísérletek eredményei nem teljesen egybehangzóak. Ennek oka a használt képek és helyzetek nagyfokú variabilitásában kereshető. Kimutathatóan megváltoztatja az EKP-k amplitúdóját, hogy az egyes érzelmi minőségeken belül is különböző relevanciájú

kategóriák vannak (Schupp és mtsai, 2006), fontos dimenzió az arousal-szint (Olofsson és mtsai, 2008), eltérnek a képek fizikai paramétereikben (komplexitásukban, színükben, a téri frekvenciájukban – (Cano és mtsai, 2009; Delplanque és mtsai, 2007; Carretie és mtsai, 2004; Junghofer és mtsai, 2001), egyes kísérletekben az ingerek ismétlődnek, másokban nem (Olofsson és mtsai, 2008). Az egyes EKP-k jellemzésekor ezeket a szempontokat érdemes szem előtt tartani.

Az érzelmek már a nagyon korai P1 komponensre is befolyással lehetnek. Pár esetben azt találták, hogy amplitúdója nagyobb negatív képekre, mint a pozitívakra (Delplanque és mtsai, 2004; Smith és mtsai, 2003). Az N1 amplitúdója a negatív és a pozitív képekre nagyobb, mint a semlegesekre (Schupp és mtsai, 2003; Keil és mtsai, 2001). Schupp munkatársaival (2006; 2003) eltérést talált az egyes kategóriákon belül is: a pozitív képek között az erotikus tartalmúak, a negatívaknál a csonkítás és a fenyegetés nagyobb amplitúdóval jártak, mint a többi kép.

A P2-vel kapcsolatos eredmények vegyesek: egyesek szerint a pozitív képeknél amplitúdója nagyobb, mint a negatív és a semleges ingereknél (Spreckelmeyer és mtsai, 2006; Carretie és mtsai, 2001a; 2001b), mások azt találták, hogy az amplitúdó a negatív, pozitív, semleges sorrendben csökken (Delplanque és mtsai, 2004), míg olyan eredmény is van, amely szerint csak a negatív és a semleges képek különböztek (Olofsson és Polich, 2007).

Ugyanígy nem egyértelmű az sem, hogyan változik az N2 komponens amplitúdója. Egyáltalán, hogy az érzelmi minőség (Schupp és mtsai, 2003), vagy az arousal (Rozenkrants és Polich, 2008) van-e rá befolyással. A kérdés megítélését nehezíti, hogy ez a komponens részben átfed az EPN-nel (early posterior negativity – korai hátsó negativitás), ami 250-300 ms körül éri el maximumát, a temporo-occipitalis régióban negatív, a fronto-centralis régióban pozitív kitérésként látható. Egyesek szerint ez az első EKP komponens, ami az érzelmi és semleges ingerek feldolgozása közötti különbséget tükrözi, amplitúdója az arousal-szinttel növekszik (Schupp és mtsai, 2006).

A P3 esetén sok kutatás jutott arra az eredményre, hogy amplitúdója az érzelmi tartalmú képeknél nagyobb, mint a neutrálisoknál (Delplanque és mtsai, 2005; Delplanque és mtsai, 2006b; Delplanque és mtsai, 2006a; Keil és mtsai, 2001; Olofsson és mtsai, 2007; Pollatos és mtsai, 2005; Spreckelmeyer és mtsai, 2006). A negatív és pozitív ingerek kapcsán jóval sokszínűbbek az eredmények: van példa arra is, hogy nem különböznek (Delplanque és mtsai, 2005), hogy a P3 amplitúdója a negatív képekre (Carretie és mtsai, 2001a; Carretie és mtsai, 2001b), illetve hogy a pozitív ingerekre nagyobb (Delplanque és

mtsai, 2006b; Delplanque és mtsai, 2006a; Pollatos és mtsai, 2005). Az érzelmek későbbi komponensekre is hatással lehetnek (késői pozitív potenciál – LPP, lassú hullámok – SW), ezek tárgyalására azonban itt nem kerül sor.

Arra, hogy az egyes korcsoportok között van-e különbség ebben a vonatkozásban, gyakorlatilag nincs EKP-s szakirodalmi adat. Wieser és mtsai (2006) az arousal moduláló hatását vizsgálták az IAPS képeinek 3 Hz-es bemutatásakor. Azt találták, hogy az időseknél a magas és alacsony arousal-szintű képeket megkülönböztető EPN később és kisebb amplitúdóval jelentkezett, mint a fiataloknál. Wood és Kisley (2006) kísérleti személyei 1 s-ig láthatták a képeket, amiket a pozitív, semleges, negatív kategória valamelyikébe kellett sorolniuk. Mindkét csoportnál az LPP (késői posterior pozitivitás, 400-900 ms között) amplitúdója nagyobb volt a pozitív és negatív ingerekre a semlegesekhez képest. A fiataloknál az amplitúdó a negatív képekre a pozitívakénál is nagyobb volt, az időseknél viszont ilyen különbséget nem találtak.

Mivel az EKP szakirodalomban nincs rá adat, kíváncsiak voltunk, hogy egy vizuális oddball helyzetben az érzelmi tartalmú ingerek eltérően befolyásolják-e a feldolgozási folyamatokat fiataloknál és időseknél. A fiatalokkal végzett vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy legnagyobb mértékben a negatív ingerekre érzékenyek (Ohman és Mineka, 2001; Cacioppo és mtsai, 1999), valamint a pozitív ingerekre is érzékenyebbek, mint a semlegesekre. Idősek esetén a viselkedéses, autonóm idegrendszeri adatokra, illetve a képpalkotó eljárások eredményeire támaszkodhatunk. Ezek alapján úgy tűnik, hogy az idősek fiziológiai reaktivitása kisebb az érzelmi tartalmú képekre, mint a fiataloké, valamint kevésbé dolgozzák fel a negatív információkat (Smith és mtsai, 2005; Gavazzeni és mtsai, 2008; Mather és mtsai, 2003). Hipotézisünk tehát az volt, hogy az EKP figyelmi és kódolási, emlékezeti folyamatokkal összefüggésbe hozható komponensei (N1, P2, N2, P3) eltérően változnak a csoportokban. A fiataloknál az amplitúdó elvárásaink szerint a negatív, pozitív, semleges sorrendben csökken, míg az időseknél a pozitív és negatív ingerek között nem várható különbség, vagy ha igen, a pozitív ingerekhez kötött potenciálok amplitúdója nagyobb.

Az fMRI adatok alapján valószínűsíthető, hogy a különböző korcsoportok eltérő kérgi hálózatokat használnak az érzelmi ingerek észlelésében (Jacques és mtsai, 2009; Mather és mtsai, 2004; Tessitore és mtsai, 2005; Gunning-Dixon és mtsai, 2003). Feltételeztük tehát, hogy a vizsgált komponensek amplitúdójának eloszlása eltér majd az egyes csoportokban (míg a P3 esetében ez egy általános megfigyelés az öregedéssel

kapcsolatban, az N1, a P2 és N2 komponensek esetén a kognitív feladatokban ilyen változást nem írnak le).

## **5.2. Módszer**

### **5.2.1. Kísérleti személyek**

A kísérletben 20 fiatal ( $21,75 \pm 1,65$  év, 8 nő, 12 férfi) és 20 idősebb ( $66,65 \pm 4,11$  év, 13 nő, 7 férfi) egészséges személy vett részt, a nemek arányában nem különböztek a csoportok ( $\chi^2=0,100$ ;  $p=0,752$ ). A MAWI-val (a Wechsler intelligenciateszt magyar változata) mérve a két csoport IQ-ja nem tért el ( $t(38)=1,197$ ;  $p=0,239$ ). A verbális próbákban azonban az idősebbek ( $t(38)=-1,997$ ;  $p=0,053$ ), míg a cselekvéses próbákban a fiatalabbak teljesítettek jobban ( $t(38)=3,506$ ;  $p=0,001$ ).

### **5.2.2. Elvezetés**

Az EEG-t NuAmp erősítőrendszerrel (szűrés: DC-70 Hz), a nemzetközi 10-20-as rendszernek megfelelően felhelyezett, 33 Ag/AgCl elektróddal regisztráltuk. A NeuroScan 4.3 szoftvert használtuk, a mintavételezési frekvencia 1000 Hz volt. A referencia az orrhegy, a föld az FCz pont volt. Az elektródok ellenállása minden esetben 10 k $\Omega$  alatt maradt. Regisztráltuk továbbá a horizontális és vertikális szemmozgásokat, az EKG-t és a galvános bőrellenállást (utóbbiakat itt nem elemezzük).

### **5.2.3. Kísérleti helyzet**

A kísérleti személyeknek egy vizuális oddball feladatot kellett végrehajtani. Az ingerek a 125 cm-re lévő monitoron 12,8°-os szögben kerültek bemutatásra. A képeket a Lang és Mtsai (Lang és Mtsai, 2005) által végzett vizsgálatban mért érzelmi minőség (valence) és arousal pontszámok alapján válogattuk az IAPS gyűjteményéből. Vizsgálati személyeik 9 fokú skálán ítélték meg ezeket a dimenziókat, ahol az érzelmi minőség esetében az 1 jelentette a skála kellemetlen, a 9 pedig a kellemes végpontját. Az arousal

megítélésében az 1 a nyugodt, a 9 az izgatott állapotot jelentette. A standard inger egy semleges kép volt, mely az esetek 85 %-ában fordult elő. A célingerek 15%-ban jelentek meg, ezek mindig új képek (5% semleges, 5% pozitív, 5% negatív tartalmú, 1s bemutatási idő, 2s ISI) voltak, megjelenésüket a személy gombnyomással jelezte. A képek érzelmi (val) és arousal (ar) pontszámai: standard: val = 4,84; ar = 3,14; pozitív: val = 7,07±0,38; ar = 5,69±0,59; negatív: val = 2,47±0,32; ar = 5,83±0,64; semleges: val = 4,79±0,17; ar = 2,78±0,42. Az ingeradás a Presentation szoftverrel történt. A vizsgálatban mértük a reakcióidőt, valamint EEG-t vezettünk el.

## **5.2.4. EEG-feldolgozás**

Az EEG-t a NeuroScan 4.3 szoftverrel dolgoztuk fel. Először FIR sávszűrővel 0,05 és 45 Hz között szűrtük 24 dB/oct meredekséggel. Ezt követte a szakaszok feldarabolása, ami a kép megjelenéséhez képest -500 és +1000 ms között történt. Az alapvonalat az inger előtti szakasz alapján illesztettük, a műtermékszűrést a szakaszok egyenkénti végignézésével végeztük. Az N1 komponens 130-190 ms, az N2-t a 260-380 ms tartomány legnegatívabb csúcsaként definiáltuk. A P2 a 190-270 ms, a P3 komponens pedig a 360-660 ms tartomány legpozitívabb csúcsa volt.

## **5.2.5. Statisztikai elemzés**

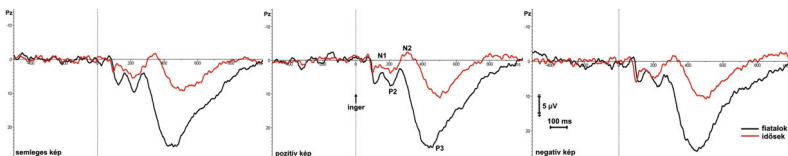
A Statistica 6.1. szoftvert használtuk az adatok statisztikai elemzéséhez. A két csoport intelligenciájának összehasonlítására kétmintás t-próbát használtunk. A reakcióidőket ismételten méréses varianciaanalízissel hasonlítottuk össze: (1) korcsoport (2 szint: fiatalok, idősek), helyzet (3 szint: semleges, pozitív, negatív). A vizuális kiváltott potenciál (VKP) egyes komponenseinek latenciáját és amplitúdóját ismételten méréses varianciaanalízissel hasonlítottuk össze. A faktorok a következők voltak: (1) korcsoport (2 szint: fiatalok, idősek), elektród (3 szint: Fz, Cz, Pz) és helyzet (3 szint: pozitív, negatív, semleges). Szükség esetén Greenhouse-Geisser korrekciót alkalmaztunk, ilyenkor a p a korrigált értéket jelenti. A szignifikáns eredményekre a páronkénti összehasonlításokat Tukey post hoc teszttel végeztük.

### 5.3. Eredmények

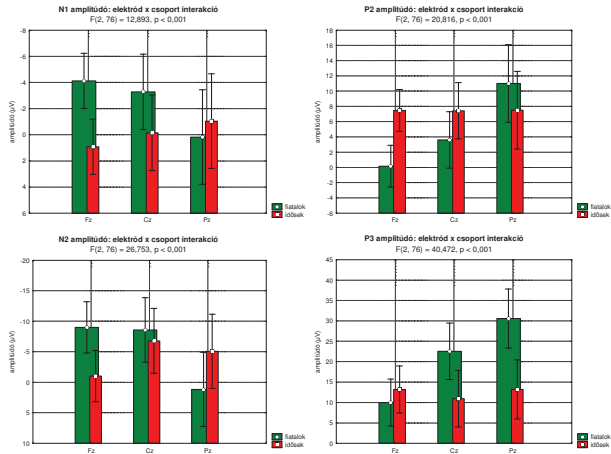
Az idők reakcióideje hosszabb volt, mint a fiataloké ( $F(1,38)=14,174$ ;  $p<0,001$ ), a képek érzelmi töltete viszont nem okozott különbséget a reakcióidőben. A találatok és a téves riasztások számában nem különböztek a csoportok.

A kiváltott potenciál komponensei közül a következőket vizsgáltuk: N1, P2, N2, P3 (5.1. ábra). A képek tartalma alapján tendencia szintű különbséget az N2 latenciája mutatott, ( $F(2,76)=2,420$ ;  $p=0,096$ ), ami a pozitív képek esetén lecsökkent a semlegesekhez képest ( $p=0,086$ ), valamint szignifikáns volt a főhatás a P3 amplitúdójára ( $F(2,76)=3,719$ ;  $p=0,029$ ): a semleges képeknél az amplitúdó kisebb volt, mint a pozitív ( $p=0,037$ ) és a negatív ( $p=0,083$ ) képeknél. A képek érzelmi minősége alapján – egy tendencia szintű eltérést leszámítva (P2 latencia –  $F(2,76)=2,942$ ;  $p=0,059$ ) – fiatalok és idők feldolgozási folyamatai nem különböztek. A P2 latenciája a fiatal csoportban hosszabb volt a negatív képek megjelenésekor a pozitívakhoz képest ( $p=0,054$ ). Az időseknél ilyen különbséget nem találtunk.

Csoport főhatást a következő esetekben kaptunk: az N1, P2 és a P3 komponens amplitúdója nagyobb volt a fiatalabb csoportban (N1:  $F(1,38)=6,218$ ;  $p=0,017$ ; P2:  $F(1,38)=4,138$ ;  $p=0,049$ ; P3:  $F(1,38)=13,691$ ;  $p<0,001$ ). Az időseknél a fiatalokhoz képest rövidebb volt a latenciája az N1 ( $F(1,38)=8,770$ ;  $p=0,005$ ), hosszabb az N2 ( $F(1,38)=44,841$ ;  $p<0,001$ ) és a P3 ( $F(1,38)=4,065$ ;  $p=0,051$ ) komponensnek. Minden vizsgált komponens amplitúdója esetén elektród x csoport interakciót kaptunk (5.2. ábra): jellemzően a fiataloknál lokalizáltabb amplitúdó maximummal (P2, P3 parietálisan, N1, N2 frontocentrálisan), míg az időseknél – az N2 kivételével, ami centroparietális maximumú volt – az egész skalpra kiterjedő eloszlással jelentkeztek az egyes komponensek.



5.1. ábra: A képek által (semleges, pozitív, negatív) kiváltott potenciálok nagytálagai a Pz elektródon. Feketével a fiatalok, pirossal az idősebbek átlagai láthatók.



5.2. ábra: Elektród x csoport interakció az N1, P2, N2 és P3 komponens amplitűdjára. Zölddel a fiatalok, pirossal az idősök adatai láthatók az Fz, Cz és Pz elektródokon. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

## 5.4. Megbeszélés

Korábbi adatok szerint az IAPS képeinek két dimenziója eltérően hat az EKP komponenseire: az érzelmi minőség a viszonylag korai (100-250 ms), az arousal pedig a későbbi (200-1000 ms) komponenseknél okoz változást aktív és passzív feladatokban egyaránt (Olofsson és mtsai, 2008; Codispoti és mtsai, 2007). Az érzelmi tartalom tehát kiugró jelentőségű minőséget képvisel, ami szelektív figyelmi folyamatokat aktivál. A kellemetlen ingerek a kellemeseknél is nagyobb hatást gyakorolnak, ami intrinzik motivációs jelentőségükkel lehet kapcsolatos, s ennek következtében a figyelmi források leginkább ezek feldolgozására irányulnak (Ito és mtsai, 1998a; 1998b; Cacioppo és Berntson, 1994). Az averzív információt az amygdala és a hozzá kapcsolódó struktúrák dolgozzák fel, ami automatikusan, tudatosodás nélkül megtörténhet (Ohman és Soares, 1998; Esteves és mtsai, 1994).

Egy másik feltételezés szerint a korai érzelmi feldolgozáshoz nem szükséges az érzelmi tartalmak kategorizálása, az arousal-szint határozza meg a szelektív figyelmi folyamatokat, amelyek az EPN amplitűdjának növekedésében követhetőek. Azok az ingerek, melyek motivációs szempontból kiemelkedőek, jelentősen facilitálják a



feldolgozási folyamatokat, függetlenül attól, hogy negatív, vagy pozitív kategóriába tartoznak-e (Schupp és mtsai, 2006).

Kísérletünk egyedülálló abból a szempontból, hogy korábban még nem hasonlították össze fiataloknál és időseknél az érzelmi ingerek EKP-kra gyakorolt hatását vizuális oddball feladatban. Arra voltunk kíváncsiak, hogy az egyes csoportok eltérően dolgozzák-e fel a negatív és a pozitív ingereket, illetve van-e különbség a neutrális és az érzelmi tartalmú anyagok feldolgozásában. Kérdésfeltevésünkben az arousal mint külön dimenzió nem szerepelt.

A korábban publikált adatok az egyes komponensek amplitúdójára vonatkoznak. Kísérletünkben egyedül a P3 amplitúdója mutatott helyzet főhatást: a pozitív és a negatív képek esetén az amplitúdó nagyobb volt, mint a semleges képekre. Ez az eredmény illeszkedik a mások által leírtakhoz (Olofsson és mtsai, 2007; Spreckelmeyer és mtsai, 2006; Delplanque és mtsai, 2006a; 2006b). Elképzelhető azonban, hogy nem a képek érzelmi tartalma, hanem arousal dimenziója okozta a különbséget, ugyanis a pozitív és negatív képek magas, a semlegesek alacsony arousal pontszámúak voltak.

Az érzelmi tartalom egyes feltételezések szerint a korai komponenseket befolyásolja (Olofsson és mtsai, 2008), tehát ezeknél várhattunk különbséget elsősorban, amikor a csoportok közötti eltérést vizsgáltuk a feldolgozásban az ingerek érzelmi minőségének dimenziója mentén. Csoport x helyzet interakciót az amplitúdókra egyik komponens esetén sem kaptunk. A latenciáknál csak a P2-re volt tendencia szintű interakció: az időseknél a tartalom nem okozott különbséget, a fiataloknál viszont a negatív ingerekre megnőtt a latencia a pozitívakhoz képest. Garcia-Larrea és mtsai (1992) hipotézise szerint a P2 egy a P3 előtti lépcsőt jelez az inger célingerként való azonosításában. Ennek értelmében a fiatalok a pozitív ingereket a negatívakhoz képest gyorsabban tudják célingerként azonosítani. Az időseknél ilyen különbség nincsen.

Annak az oka, hogy nem kaptunk markánsabb különbséget a csoportok feldolgozási folyamataiban az érzelem dimenzió mentén, részben az lehet, hogy a képek kiválasztásakor az amerikai mintán (Lang és mtsai, 2005) mért valencia pontokat vettük figyelembe, s a magyar kísérleti személyek számára elképzelhető, hogy ezek a tartalmak mást jelentenek. Egyesek rámutatnak arra is (Ito és mtsai, 1998a; 1998b; Olofsson és mtsai, 2008), hogy a képek bipoláris skálázása lehet, hogy nem megfelelően fedi le a valóságot, a kellemes és kellemetlen dimenzió nem biztos, hogy reciprok és antagonisztikus kapcsolatban áll egymással, elképzelhető, hogy egy inger mindkét típusú motivációs rendszert egyidejűleg aktiválja.

A megfigyelt változások egy része a szakirodalom által is leírt (Ceponiene és mtsai, 2008; Lorenzo-Lopez és mtsai, 2007; Daffner és mtsai, 2006) általános életkori hatásnak tulajdoníthatók: az N2 és a P3 latenciája megnőtt, valamint a P3 amplitúdója lecsökkent az idős csoportban.

Az általános lassulás az EKP korai komponenseit még nem érinti. Az N1 latenciája az időseknél rövidebb volt, mint a fiataloknál, ami gyorsabb orientációt jelez, számukra talán felhívóbb jellegűek voltak az ingerek. Csoport főhatást mutatott a P2 amplitúdója is: a fiataloknál nagyobb volt, mint az időseknél, ami alapján feltételezhetjük, hogy az idősek jobban odafigyeltek a feladatra (Michie és mtsai, 1993).

Sikerült igazolnunk azt a hipotézisünket, hogy a képek feldolgozásának egyes fázisaival kapcsolatba hozható N1, P2, N2 és P3 komponensek eloszlása eltér az egyes korosztályokban, aminek hátterében vélhetően eltérő hálózatok aktiválódása állhat. Az eltérő aktivitás-mintázat – a kognitív feladatoknál tapasztaltakhoz hasonlóan – jelezhet kompenzációs mechanizmusokat, vagy eltérő stratégiák alkalmazását.

Összefoglalásul megállapíthatjuk, hogy az egyes csoportok nem dolgozták fel eltérően a különböző érzelmi tartalmú ingereket, de abban eltértek, hogy a feladat megoldása során mely idegrendszeri területek aktiválódtak.

## **6. Akusztikus CNV helyzet érzelmi tartalmú képekkel**

### **6.1. Bevezetés**

Az érzelmi ingerek, jelentőségüknél fogva, magukra irányítják a figyelmet (Mathews és Macleod, 1994; Lang és mtsai, 1998; Junghofer és mtsai, 2005), növelik az arousalt, aktiválják a szervezetet, hogy az felkészülhessen a megfelelő reakcióra. Kísérletünkben arra voltunk kíváncsiak, jelenlétük hogyan hat a feldolgozási folyamatokra egy akusztikus CNV paradigmában, melynek során a próbák egy részében semleges, pozitív vagy negatív képek jelennek meg a monitoron.

A CNV-t magyarul várakozási hullámnak is nevezik, mivel egy figyelmeztető inger után, a felszólító ingerre való várakozás során alakul ki. A CNV lassú negatív eltérésként jelentkezik az EEG-ben, mely a kérgi idegsejtek depolarizációjának eredménye (Tecce és

Cattanach, 1993), s egyben a figyelmi források mozgósításának a jele (Elbert, 1993, idézi Filipovic és mtsai, 2001).

A lassú negatív potenciálok funkcionális alapjaival kapcsolatban két főbb elmélet született (van Boxtel és Bocker, 2004). A küszöb-szabályozási (Birbaumer és mtsai, 1990; Rockstroh és mtsai, 1993), és a thalamicus kapuzási elmélet (Skinner és Yingling, 1976; Goldberg, 1985; Brunia, 1993).

A küszöb-szabályozási elmélet abból indul ki, hogy a pillanatnyi posztzinaptikus membránpotenciál (MP) és az idegsejt tüzelésének ingerküszöbe közötti különbség jellemzi egy neuron vagy neuroncsoport aktuális állapotát. Egy külső inger inputja nem feltétlenül vezet a neuronok tüzeléséhez, viszont növeli a kéreg izgathatóságát, s ezáltal csökkenti az ingerküszöböt. Ezt a folyamatot tükrözi a skalpról elvezethető negativitás, melynek során a beérkező ingerek feldolgozása fokozottabbá válik.

A thalamicus kapuzási elmélet szerint, ahogy az elnevezésből is kiderül, a thalamusban található egy kapuzási mechanizmus, melynek az információáramlásban fontos szerepe van. Ez a mechanizmus a thalamus specifikus relé magvai és a thalamus külső része, a nucleus reticularis között működik. Utóbbi GABAerg sejtei gátolni tudják a relé magvakat. Ha a kapu kinyílik, a sejtek a tüzelési módból tónusos működésre váltanak, ami az elvezetéseken lassú negativitásként, illetve ERD-ként jelenik meg. A tüzelési módban a MP hiperpolarizált, információáramlás nincs. A tónusos működés alatt az idegsejtek depolarizáltak, az információ a kéreg felé haladhat. Ebben a folyamatban a nucleus reticularis is kontroll alatt áll: az ARAS aspecifikus és a frontális lebeny specifikus gátlással szabályozza.

Mindkét elmélet szerint a CNV a feladat típusának megfelelő kérgi területen jön létre, melyet az inger, vagy ingerek modalitása határoz meg.

Ha hosszabb idő van a két inger között, a CNV-nek két szakasza különíthető el. A korai szakasz frontálisabb eloszlású, a figyelmeztető ingerre kialakuló orientáció hozza létre, míg a késői szakasz a motoros, illetve kognitív előkészülettel hozható összefüggésbe (Gomez és mtsai, 2003). Egy általánosabb felfogás szerint (Brunia és van Boxtel, 2001; Birbaumer és mtsai, 1990) a CNV a feladat végrehajtásához szükséges összes folyamat (szenzoros, kognitív, motoros) előkészületét jelzi, melyek jelenlétének aránya a feladat típusától függ. Ezért például ha a felszólító inger után motoros választ kell adni, centrális eloszlás tapasztalható, míg ha egy kognitív feladatot motoros válasz nélkül kell végrehajtani, az eloszlás frontális lesz. A frontális CNV az előkészület során tett erőfeszítéssel hozható összefüggésbe: amplitúdója nagyobb a feladatot sikeresen

végrehajtó személyeknél (Falkenstein és mtsai, 2003; Hohnsbein és mtsai, 1998), illetve nő az amplitúdó a feladat nehézségével is (Lorist és mtsai, 2000). A CNV korai szakaszát az arousal befolyásolja, a késői szakaszra a figyelem hat (Tecce, 1972, idézi Marton és mtsai, 1994).

Mivel a CNV, definíció szerint, létrejön két inger között, ha a másodikra motoros választ kell adni, azt vártuk, hogy a kontroll helyzetben (ahol még nem ismerik a személyek a feladatot) az EEG az alapvonalon marad az ingerek között, a feladat helyzetben viszont létrejön a CNV.

A CNV generátorai részben a frontális lebenyben helyezkednek el (Rosahl és mtsai, 1995; Hamano és mtsai, 1997) – amit az öregedés a legnagyobb mértékben érint –, ezért feltételezhetjük, hogy az életkori hatások befolyásolni fogják megjelenését. A szakirodalmi adatok azonban nem egységesek ebben a vonatkozásban. Michalewski és mtsai (1980) azt találták, hogy az amplitúdó csökken a frontális területek felett, centrálisan és parietálisan azonban nem változik. Mások (Golob és mtsai, 2005; Ferrandez és Pouthas, 2001; Dimberger és mtsai, 2000) általános csökkenést találtak az öregedés során. Egyeseknél nem különböztek a csoportok (Bennett és mtsai, 2004), míg Miyamoto (Miyamoto és mtsai, 1998) vagy Hillman (Hillman és mtsai, 2002) kísérletei során az idős személyeknél nagyobb volt a CNV amplitúdója a fiatalokhoz képest. Az eltérő eredmények oka részben a feladatok különböző nehézsége, illetve olyan nehezen kontrollálható változók, mint a személyek erőfeszítése, vagy fáradtsága. Kísérletünkben az öregedés hatását a CNV-re a feladat helyzet azon próbáiban vizsgáljuk, ahol nem jelennek meg a képek.

A frontális lebenyt kiterjedten érintő életkori hatásoknak köszönhető az is, hogy az idősebbek számára elérhető figyelmi, feldolgozási kapacitások szűkösebbek, mint a fiataloknál, illetve ők kevésbé tudják kizárni a zavaró ingereket, azok nagyobb interferenciát okoznak a feldolgozásban (Esposito és mtsai, 1999). Ezek alapján feltételeztük, hogy a CNV amplitúdója – mely összefüggésbe hozható a mozgósítható figyelmi kapacitásokkal – az időseknél kisebb lesz a semleges képek bemutatásakor, mint a fiataloknál. Abban az esetben azonban, ha a képek emocionális tartalmúak, megnő a személyek arousal szintje, egy általános aktiváció hat az idegrendszerre, mely egy szintig (Yerkes és Dodson, 1908, idézi Czigler, 2003) facilitálja az ingerek feldolgozását. Ennek következtében a pozitív és negatív képek bemutatásakor az AKP N1 és P3 komponenseinek és a CNV amplitúdójának növekedését várhatjuk. Ha az idősök fiziológiai reaktivitása tényleg kisebb, mint ahogy többen leírják (Gavazzeni és mtsai, 2008; Smith és mtsai, 2005), ez az amplitúdó-növekedés a fiataloknál lesz kifejezettebb.

A negyedik kísérletben leírtakhoz hasonlóan, kíváncsiak voltunk a VKP komponenseinek változására az érzelmi tartalom és az életkor függvényében. A korábban részletezett vizuális oddball helyzethez képest az jelent különbséget, hogy itt a képekhez kapcsolódó feladata nem volt a személyeknek.

## **6.2. Módszer**

### **6.2.1. Kísérleti személyek**

A kísérletben két csoport vett részt. A fiatalok ( $n=17$  fő: 7 nő, 10 férfi) 18 és 23 év (átlagéletkor:  $20,7 \pm 2,02$  év), az idősek ( $n=16$  fő: 13 nő, 3 férfi) 62-75 év (átlagéletkor:  $66,7 \pm 3,93$  év) közöttiek voltak. A nemek aránya nem tért el a csoportokban ( $\chi^2=1,485$ ;  $p=0,223$ ). A Wechsler intelligenciateszt magyar változata (MAWI) alapján a két csoport IQ-ja nem különbözött ( $t(31)=-0,095$ ;  $p=0,925$ ). Azonban ha külön vizsgáljuk a verbális és a performációs intelligenciát, egyértelmű különbséget találunk. A verbális próbákban az idősebbek teljesítettek jobban ( $t(31)=-3,079$ ;  $p=0,004$ ), a performációs teszteken viszont a fiatalabbak ( $t(31)=1,963$ ;  $p=0,059$ ).

### **6.2.2. Elvezetés**

Az EEG-t NuAmp erősítőrendszerrel (szűrés: DC-70 Hz), 33, a nemzetközi 10-20-as rendszernek megfelelően felhelyezett, Ag/AgCl elektróddal, NeuroScan 4.3 szoftverrel (mintavételezési frekvencia = 1000 Hz) regisztráltuk. Referenciaként az orrhegyet, földként az FCz pontot használtuk. Az elektródok ellenállása minden esetben 10 k $\Omega$  alatt volt. Regisztráltuk továbbá a horizontális és vertikális szemmozgásokat, az EKG-t és a galvános bőrellenállást (utóbbiakat itt nem elemezzük).

### 6.2.3. Kísérleti helyzet

Az akusztikus CNV helyzetben hangpárokat hallottak a személyek ( $ISI = 3000$  ms,  $v = 1000$  Hz vagy  $1200$  Hz, a hangpárok közötti idő  $8$  és  $9$  s között változott). A kontroll helyzetben még nem kaptak a feladatra vonatkozó instrukciókat, csak végig kellett hallgatniuk a hangokat. A feladat helyzetben le kellett nyomniuk a jobb gombot a joystickon, ha a két hang egyforma volt ( $40\%$ ), a bal gombot pedig akkor, ha különböztek ( $60\%$ ). Az esetek  $40\%$ -ában egy kép (semleges, pozitív vagy negatív) jelent meg a képernyőn ( $12,8^\circ$ -os látószögben)  $1,5$  s-mal az első hang előtt, és  $6,5$  s-ig maradt fent. A képeket az IAPS (Lang és mtai, 2005) gyűjteményéből válogattuk ki. A mintánkban használt képek paraméterei: pozitív:  $val = 7,76 \pm 0,27$ ;  $ar = 5,91 \pm 0,75$ ; negatív:  $val = 2,14 \pm 0,25$ ;  $ar = 6,03 \pm 0,43$ ; semleges:  $val = 5,13 \pm 0,26$ ;  $ar = 3,24 \pm 0,52$ . Az ingeradás a Presentation szoftverrel történt.

### 6.2.4. EEG-feldolgozás

A feldolgozás során két külön elemzést végeztünk. Az első részben a képek által kiváltott potenciált (VKP) vizsgáltuk, a másodikban pedig az akusztikus kiváltott potenciálokat (AKP), illetve a hangpár között kialakult CNV-t.

A VKP esetén az EEG-t a képekhez képest  $-500$  és  $+1500$  ms között daraboltuk fel, majd az inger előtti szakasz alapján igazítottuk az alapvonalat. Ezt a lépést kézi műtermékszűrés követte. Az átlagolást külön végeztük a pozitív, negatív és semleges képekre. A nagyatlagokon az N1 ( $110$ - $170$  ms), P2 ( $170$ - $240$  ms), N2 ( $230$ - $400$  ms) és P3 ( $330$ - $700$  ms) komponenseket a meghatározott időtartományban talált legnegatívabb, illetve legpozitívabb csúcsként definiáltuk.

A hangpárok esetében az EEG-t az első hanghoz képest  $-500$  és  $+4000$  ms között daraboltuk fel. Egy, az egész szakaszra vonatkozó lineáris trend eltávolítást (linear detrend) az alapvonal igazítása követte az inger előtti szakasz alapján. A műtermékszűrés itt is kézi volt. Az N1 és P3 komponenseket a vizsgált tartomány legnegatívabb, illetve legpozitívabb csúcsaként definiáltuk. Ez a tartomány az első hang esetén:  $140$ - $290$  ms és  $230$ - $550$  ms, a második hang esetén:  $3130$ - $3310$  ms és  $3300$ - $3650$  ms.

A CNV amplitúdójának elemzésekor a folyamat kezdeti és befejező szakaszát vizsgáltuk, a  $600$ - $1000$  ms és  $2600$ - $3000$  ms közötti átlagamplitúdót mértük.

A feldolgozás a NeuroScan 4.3 szoftverrel történt, az elemzésekben a középvonalai csatornákat használtuk fel: Fz, Cz, Pz.

### **6.2.5. Statisztikai elemzés**

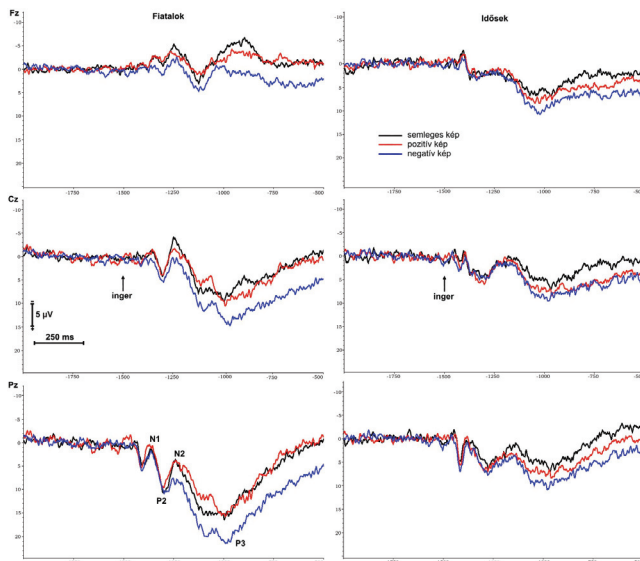
A Statistica 6.1. szoftverrel történt az adatok statisztikai elemzése. A két csoport intelligenciájának összehasonlítására kétmintás t-próbát használtunk. A reakcióidőket ismételt mérésees varianciaanalízissel hasonlítottuk össze: (1) korcsoport (2 szint), (2) kép (4 szint: nincs kép, semleges, pozitív, negatív). A VKP esetén az ismételt mérésees ANOVA faktorai a következők voltak: (1) korcsoport (2 szint), (2) elektród (3 szint) és (3) helyzet (3 szint: pozitív, negatív, semleges). Az AKP esetén a faktorok azonosak voltak, de a helyzet 5 szinttel szerepelt: kontroll, nincs kép, pozitív, negatív, semleges. A CNV amplitúdójának számításakor ezekhez egy újabb faktor is csatlakozott, a szakasz (2 szint: CNV eleje és vége). Amikor szükséges volt, Greenhouse-Geisser korrekciót használtunk – a p a korrigált értéket jelenti ezekben az esetekben. A szignifikáns eredményeknél a páronkénti összehasonlítást a Tukey post hoc teszttel végeztük.

### **6.3. Eredmények**

A viselkedésses válaszokban nem találtunk különbséget a csoportok között: reakcióidejük, a találatok és a téves riasztások száma nem tért el.

### 6.3.1. Vizuális kiváltott potenciálok

A képek hatására megjelent EKP-k a 6.1. ábrán láthatók.



6.1. ábra: A semleges, pozitív és negatív képek hatására megjelenő EKP-k a két korcsoportban. Az ingeradás időpontja: -1500 ms.

#### 6.3.1.1. N1 és P2 komponens

Az N1 komponens latenciája tendencia szinten különbözött a csoportokban: a fiataloknál hosszabb volt, mint az időseknél ( $F[1,41]=3,065$ ;  $p=0,087$ ). A képek tartalma alapján mutatkozott egy tendencia szintű főhatás ( $F[2,82]=2,528$ ;  $p=0,086$ ): a pozitív képeknél a latencia rövidebb volt, mint a semlegeseknél ( $p=0,079$ ). Az N1 amplitúdója a fiataloknál frontocentrális maximumú volt, az időseknél egyenletes eloszlást mutatott az egész skalpon ( $F[2,82]=5,465$ ;  $p=0,006$ ).

A P2 komponens latenciáját és amplitúdóját nem befolyásolta az életkor. Az eloszlásban viszont találtunk különbséget ( $F[2,82]=12,617$ ;  $p<0,001$ ): míg a fiataloknál egyértelműen parietális csúccsal volt megfigyelhető, addig az időseknél az eloszlás centroparietális volt. A képek érzelmi tartalma a P2 vizsgált paramétereire nem volt hatással.

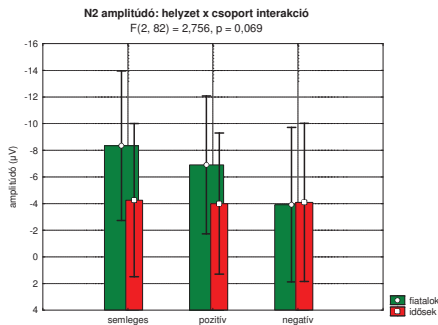


### 6.3.1.2. N2 és P3 komponens

A késői komponensek latenciája nőtt az életkorral (N2:  $F[1,41]=4,052$ ;  $p=0,051$ ; P3:  $F[1,41]=3,210$ ;  $p=0,081$ ). Az N2 a fiatal csoportnál frontocentrálisan jelentkezett, az időseknél pedig egyenletes eloszlást mutatott ( $F[2,82]=13,320$ ;  $p<0,001$ ). A P3 amplitúdója az idős csoportban kisebb volt, mint a fiataloknál ( $F[1,41]=3,828$ ;  $p=0,057$ ). Eloszlására – a többi komponenshez hasonlóan – jellemző volt, hogy az időseknél az egyes elektródok között nem tért el az amplitúdó, a fiataloknál pedig lokalizáltabb, ebben az esetben parietális eloszlás volt megfigyelhető ( $F[2,82]=13,320$ ;  $p<0,001$ ).

A képek tartalma nem befolyásolta a két komponens latenciáját, az amplitúdójukat viszont igen. Az N2 esetén ( $F[2,82]=3,087$ ;  $p=0,051$ ) a negatív képekre kisebb volt az amplitúdó, mint a semleges tartalmúakra ( $p=0,037$ ). A P3 komponensnél ( $F[2,82]=6,885$ ;  $p=0,002$ ) nagyobb amplitúdót találtunk a negatív képekre, mint a másik két kategória képeire ( $p[\text{semleges}]=0,002$  és  $p[\text{pozitív}]=0,016$ ).

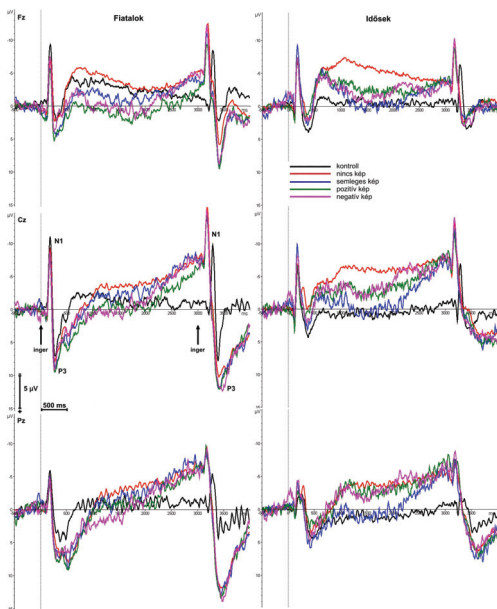
Helyzet x korcsoport interakciót csak az N2 amplitúdója esetén találtunk tendencia szinten ( $F[2,82]=2,756$ ;  $p=0,069$ , 6.2. ábra), ahol a fiataloknál a negatív képekre kisebb volt az amplitúdó a semlegesekhez képest ( $p=0,014$ ), az időseknél viszont nem különböztek a helyzetek. A négy vizsgált komponens paramétereiben egyéb esetekben nem volt jele, hogy a fiatalok és idősek eltérően dolgoznák fel a képeket érzelmi töltetük függvényében.



6.2. ábra: Helyzet x csoport interakció az N2 komponens amplitúdójára a háromféle tartalmú képre (semleges, pozitív, negatív) a fiatal (zöld) és idős (piros) csoportban. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

### 6.3.2. Akusztikus kiváltott potenciálok

A 6.3. ábrán láthatók a hangpárra adott válaszok nagytípusai.

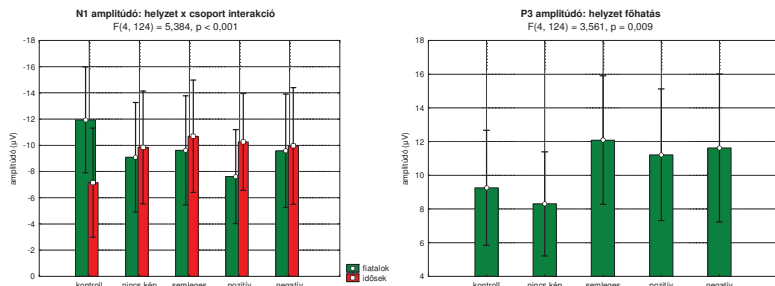


6.3. ábra: AKP-k és CNV. A hangingerek 0 és 3000 ms-nál érkeztek. A képen a két csoport nagytípusai láthatók a kontroll és a feladat helyzetekben a középilonali elektródokon.

#### 6.3.2.1. AKP – első hang

Az N1 komponens latenciája az időseknél hosszabb volt, mint a fiataloknál ( $F[1,31]=13,819$ ;  $p<0,001$ ). A helyzet főhatás szignifikáns volt ( $F[4,124]=2,527$ ;  $p=0,044$ ), a post hoc teszt azonban nem jelezte a különbségeket. Az átlagértékek alapján a kontroll és a kép nélküli feladat helyzetben a latencia hosszabb volt, mint a képek jelenlétekor.

Az N1 amplitúdójára helyzet x csoport interakciót kaptunk ( $F[4,124]=5,384$ ;  $p<0,001$ , 6.4. ábra): a fiataloknál a kontroll helyzetben nagyobb volt az amplitúdó, mint a feladat helyzetekben, szignifikánsan a pozitív képeknel különbözött ( $p=0,011$ ). Az időseknél viszont (bár nem szignifikáns adat) a kontrollban volt a legkisebb az amplitúdó.



6.4. ábra: (A) Helyzet x csoport interakció az N1 komponens amplitúdójára az öt helyzetben (kontroll, feladat kép nélkül, semleges, pozitív, negatív képpel). Zölddel a fiatalok, pirossal az idősek adatai láthatók. (B) Helyzet főhatás a P3 amplitúdójára. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

A P3 latenciája az időseknél hosszabb volt, mint a fiataloknál ( $F[1,31]=3,492$ ;  $p=0,071$ ). Amplitúdója nagyobb volt a fiatal, mint az idős csoportban ( $F[1,31]=3,156$ ;  $p=0,085$ ). Eltért az eloszlás is a csoportokban ( $F[2,62]=9,131$ ;  $p<0,001$ ): a fiataloknál centroparietális maximum volt látható, az időseknél viszont egyenletesebb eloszlás volt jellemző az egyes elektródpozíciók között.

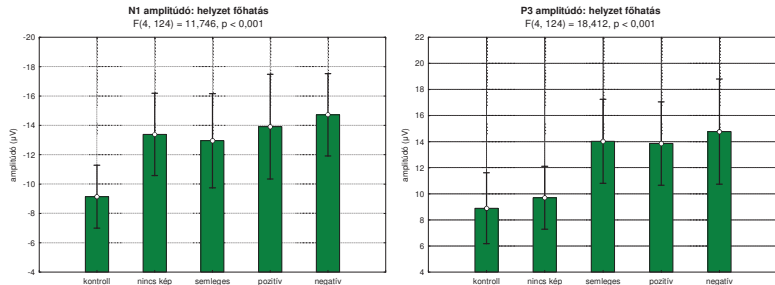
A P3 amplitúdójára szignifikáns volt a helyzet főhatás ( $F[4,124]=3,561$ ;  $p=0,009$ , 6.3. ábra): az átlagok alapján a kontroll és a kép nélküli feladat helyzetben kisebb volt az amplitúdó, mint amikor képet láttak a személyek. A post hoc teszt ebből a kép nélküli helyzet és a semleges ( $p=0,018$ ), valamint a negatív ( $p=0,057$ ) képek alatt rögzített amplitúdók különbségét jelezte.

### 6.3.2.2. AKP – második hang

A második hang által kiváltott N1 komponens latenciája és amplitúdója nem különbözött a csoportok között, különbséget csak a helyzetek között találtunk. A latencia ( $F[4,124]=68,419$ ;  $p<0,001$ ) a kontrollhoz képest a feladat helyzet minden feltételében rövidebb volt ( $p<0,001$  mindegyik esetben). Az amplitúdó ( $F[4,124]=11,746$ ;  $p<0,001$ , 6.5. ábra) kisebb volt a kontroll feltételben, mint a többi helyzetben ( $p<0,001$  mindegyik esetben).

A P3 latenciája az időseknél hosszabb volt, mint a fiataloknál ( $F[1,31]=4,525$ ;  $p=0,041$ ), amplitúdója a fiataloknál volt nagyobb ( $F[1,31]=12,728$ ;  $p=0,001$ ). Bár szignifikáns volt az elektród x csoport interakció ( $F[2,62]=7,227$ ;  $p=0,002$ ), mindkét

csoportnál centroparietális volt az eloszlás. Szignifikáns volt a helyzet főhatás is ( $F[4,124]=18,412$ ;  $p<0,001$ , 6.5. ábra): a kontroll és a kép nélküli feladat helyzethez képest az amplitúdó nagyobb volt, ha képeket látott a vizsgálati személy az akusztikus feladat alatt ( $p<0,001$  minden esetben). Helyzet x csoport interakciót a második AKP egyik vizsgált paraméterére sem kaptunk.

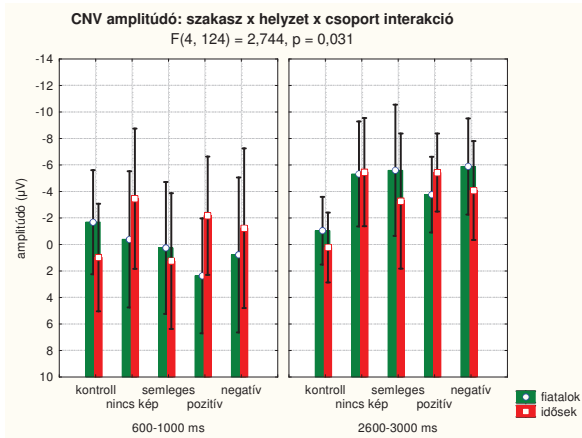


6.5. ábra: Helyzet főhatás az N1 és P3 komponensek amplitúdójára az öt helyzetben (kontroll, feladat nélkül, semleges, pozitív, negatív képpel). A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

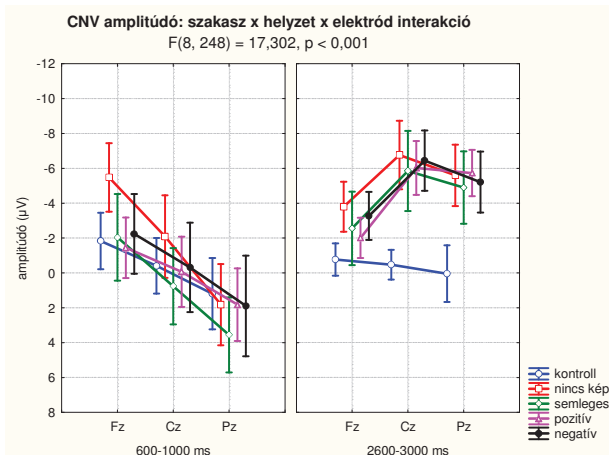
### 6.3.3. CNV

A CNV amplitúdójában nem különböztek a korcsoportok. Szignifikáns volt a helyzet x csoport interakció ( $F[4,124]=2,630$ ;  $p=0,038$ ) és a szakasz x helyzet x csoport interakció is ( $F[4,124]=2,744$ ;  $p=0,031$ , 6.6. ábra), de a csoportok között helyzetenként sem az elején, sem a végén nem volt különbség. A fiataloknál a CNV kezdeti szakaszán a kontroll helyzetben az amplitúdó nagyobb volt, mint a feladat helyzetekben (szignifikánsan a pozitív képek nézésekor,  $p<0,001$ ), a második szakaszban pedig kisebb volt az amplitúdó a kontroll alatt, mint a kép nélküli feladat helyzetben ( $p<0,001$ ), a semleges ( $p<0,001$ ), a negatív ( $p<0,001$ ) és a pozitív (nem szignifikáns) képek nézésekor. Az időseknél az első periódusban a kontroll helyzetben és a semleges képek jelenlétében az amplitúdó kisebb volt, mint a kép nélküli feladat helyzetben ( $p(\text{kontroll})<0,001$ ;  $p(\text{semleges})<0,001$ ), illetve a pozitív ( $p(\text{kontroll})=0,052$ ;  $p(\text{semleges})=0,018$ ) és negatív (nem szignifikáns) képek bemutatása alatt. A CNV végén a kontroll helyzetben mért amplitúdó kisebb volt az összes feladat helyzetben mért értéknél ( $p(\text{nincs kép})<0,001$ ;  $p(\text{semleges})=0,013$ ;  $p(\text{pozitív})<0,001$ ;  $p(\text{negatív})<0,001$ ).

A szakasz x helyzet x elektród interakció ( $F[8,248]=17,302$ ;  $p<0,001$ , 6.7. ábra) jelezte, hogy a két hang közötti várakozás során kialakuló CNV kezdeti és végső szakasza más-más folyamatokkal állhat kapcsolatban: az első periódusban az eloszlás frontális, a második szakaszban – a kontroll helyzet kivételével – viszont centroparietális volt.



6.6. ábra: Szakasz x helyzet x csoport interakció a CNV amplitúdójára az öt helyzetben (kontroll, feladat kép nélkül, semleges, pozitív, negatív képpel). Zölddel a fiatalok, pirossal az idősek adatai láthatók. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.



6.7. ábra: Szakasz x helyzet x elektród interakció a CNV amplitúdójára a két vizsgált periódusban. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia intervallumot jelzik.

## 6.4. Megbeszélés

### 6.4.1. Vizuális kiváltott potenciálok

Mint ahogy korábbi fejezetekben összefoglaltuk, a környezet ingereinek érzelmi töltete a különböző életkorokban eltérően befolyásolja a kognitív folyamatokat (Charles és mtsai, 2003; Mather és mtsai, 2003; Pennebaker és Stone, 2003; Wood és mtsai, 2005). Bár az időseknél a fiatalabbakhoz képest az arousal szubjektív élménye hasonló (Levenson és mtsai, 1991), fiziológiai reaktivitásuk gyengébb (Smith és mtsai, 2005). Érzelmi ingerek bemutatásakor fMRI kísérletekben csökkent aktivitást találtak az érzelmi és szociális viselkedésben szerepet játszó területeken, míg a komplex kognitív és nyelvi működésekre felelős areákban az aktivitás megnőtt időseknél (Tessitore és mtsai, 2005; Gunning-Dixon és mtsai, 2003).

Kísérletünk során részben arra voltunk kíváncsiak, hogyan dolgozzák fel a fiatalok és az idősek az érzelmi tartalmú képeket, amennyiben azokhoz kapcsolódó feladatot nem kapnak. Mivel ennek a kérdésnek gyakorlatilag nincs EKP-s szakirodalma, az eredményeket saját, a vizuális oddball feladatban kapott adatainkkal hasonlítjuk össze.

Az életkori hatások ebben a paradigmában is a késői komponenseket érintették: az időseknél megnőtt az N2 és a P3 latenciája, lecsökkent a P3 amplitúdója. A vizuális oddball helyzethez hasonló az az eredmény is, hogy az N1 latenciája a fiatal csoportban hosszabb, az időseknél a képekre irányuló orientáció gyorsabb volt.

A képek tartalmának a korai komponensek közül csak az N1 latenciájára volt tendencia szintű hatása: az érzelmi képekre (elsősorban a pozitívakra) gyorsabb volt az orientáció, mint a semlegesekre, ami összhangban áll azokkal az elképzelésekkel, melyek szerint ezek az ingerek biológiai, és ezen keresztül evolúciós jelentőséggel bírnak.

A késői komponenseknél az amplitúdó a negatív tartalomra kisebb volt az N2, és nagyobb a P3 esetén. Mivel a képek magyar mintán nem kerültek bemérésre, kérdés, hogy vajon tényleg a negatív tartalomnak van-e különleges jelentősége, vagy pedig ezek a képek magasabb arousalt váltottak ki.

Feltételeztük, hogy a csoportok eltérnek az egyes tartalmak feldolgozásában. Erre utaló eredményt azonban csak az N2 amplitúdójára kaptunk tendencia szinten (a vizuális oddball helyzetben ilyen hatás nem mutatkozott): míg az idősek egyformán dolgozták fel a

képeket, a fiataloknál az amplitúdó a semleges képekre volt a legnagyobb, a negatívakra a legkisebb.

Önmagában az a tény, hogy megjelent az N2, jelzi, hogy a képek aktív figyelmi folyamatokat indítottak el annak ellenére, hogy hozzájuk kapcsolódó feladata a személyeknek nem volt.

Az egyes csoportok közötti különbség – az aktív helyzethez hasonlóan – a komponensek eloszlásában mutatkozott meg elsősorban. A fiataloknál lokalizáltabb amplitúdó-maximumokat figyelhettünk meg, míg az időseknél a skalp egyes pontjai között nem volt különbség. Ez arra utal, hogy a két csoportnál a feldolgozás során eltérő ideghálózatok aktiválódhattak.

Összességében az aktív és a passzív helyzet között egy lényeges különbség adódott: az N2 amplitúdóra helyzet x csoport interakciót kaptunk a passzív feltételben, a vizuális oddball helyzetben viszont nem. Az interakció alapján az N2 amplitúdója az időseknél kisebb volt, mint a fiataloknál, és nem változott a helyzetek között, a fiatal csoportban a semleges-pozitív-negatív irányban csökkent. A kisebb amplitúdó ebben az esetben valószínűleg gyengébb gátlási folyamatokat jelez. A képekhez tartozó feladata a személyeknek nem volt, ennek megfelelően feltételezhető, hogy a fiatalok a semleges képek esetén aktív gátlással igyekeztek kiszorítani ezt az információt. Az érzelmi ingerek azonban evolúciós jelentőséggel bírnak, s elsősorban a negatív tartalom feldolgozása adaptív (Carretie és mtsai , 2009), ezért hatását nehezebb kiküszöbölni. Az idősek valószínűleg eleve gyengébbek az irreleváns ingerek gátlásában, s külön érdekes, hogy számukra a tartalom minőségének nincs kimutatható jelentősége (bár elképzelhető, hogy padlóeffektus okozza az egyforma értékeket).

#### **6.4.2. CNV**

A feladat helyzetben a két hang között létrejött egy lassú negativitás, a CNV. A CNV szakaszában a piramissejtek depolarizációjának köszönhetően a kéreg facilitált állapotban van (Rockstroh és mtsai, 1993), az aktivitás emelkedésével pedig nő az aktuális feladatokra fordítható kapacitás (Kahneman, 1973, idézi Czigler, 2003). Ezt a facilitált állapotot a CNV amplitúdójával számszerűsíthetjük. Kísérletünkben azt vizsgáltuk, hogy az öregedés során hogyan változik ez a kapacitás, illetve a kéreg aktiválhatósága.

Más eredményekkel összhangban (Gomez és mtsai, 2003; Hamano és mtsai, 1997), a CNV eloszlásának változása jelezte, hogy az első és a második szakaszban más-más folyamatok aktiválódtak. A CNV elején az eloszlás frontális volt, ekkor az orientációs folyamatok kerülhettek előtérbe, míg az utolsó szakaszban a motoros válaszra való felkészülés történhetett meg, amit a centroparietális eloszlás jelzett.

Bár a kép nélküli feladat helyzetben a CNV amplitúdója nem tért el a két csoportban, az egyéb amplitúdó-változások egyértelműen különbségeket jeleztek a csoportok között.

A fiataloknál az első szakaszban a kontroll helyzetben találtuk a legnagyobb amplitúdót, ami ellentétes a CNV jelenségével, viszont jelzi, hogy az orientáció önkéntelenül is kialakul a hangingerekre. Az, hogy a feladat helyzetben kisebb az amplitúdó, felvetette azt a lehetőséget, hogy már a képek megjelenésekor elindult egy lassú negatívítás, s a fiatalok számára a kép töltötte be a figyelmeztető inger (S1) szerepét, az első hang pedig inkább egy elterelő (probe) ingernek felelt meg. Amennyiben így van – s egy utólagos feldolgozásban kimutattuk, hogy a fiataloknál valóban már a kép után kialakul a CNV – a feladat helyzetben az alapvonal-illesztés csökkentette a CNV amplitúdóját<sup>2</sup>. Ebbe a magyarázatba azonban nem illeszthető be az a jelenség, hogy a kép nélküli feladat helyzetben is – ahol az első hang előtt még nem alakult ki CNV – kisebb volt az amplitúdó, mint a kontroll feltételben.

A hipotéziseinkben megfogalmazott hatásokat valójában az időknel figyelhetjük meg. Náluk a kontrollhoz képest a feladat helyzetben (ahol nem volt kép) kialakult a CNV már a kezdeti szakaszon. Amplitúdója a semleges képekre lecsökkent, jelezve, hogy a képek a feldolgozó kapacitás egy részét lekötötték. Ezt a folyamatot ellensúlyozhatta a pozitív és a negatív képek arousal-növelő hatása: a kéreg aktiválásának következtében az amplitúdó a kép nélküli helyzetben talált értékhez volt mérhető. Érdekes volt az a tény is, hogy a fiatalokkal ellentétben, az idős csoportban a CNV csak az első hang után kezdett kialakulni, a képek megjelenése nem indította el a várakozási folyamatokat.

A csoportok eltértek abban is, hogy az időknel a feladat helyzetben belül is voltak különbségek az egyes feltételek között, míg a fiataloknál ezt nem figyeltük meg. Ennek oka az lehet, hogy az elterelő és a feladatban releváns ingerek modalitása nem egyezett meg. Ilyen esetben feltételezhető, hogy a különböző típusú ingerek feldolgozását más-más rendszerek végzik. Több szerző eredménye szerint ezek a folyamatok egymástól

---

<sup>2</sup> Ideális helyzetben az elemzett szakaszok a kép megjelenése előtt kezdődnének, és csak a második hang után fejeződnének be. Ez legalább 6 s-os szakaszokat jelentene, melyek során a műtermékek előfordulásának valószínűsége olyan mértékben megnőne, hogy nem maradna az értékeléshez elegendő mennyiségű adat.



függetlenek (Schupp és mtsai, 2008; Muller-Gass és mtsai, 2007; Rees és mtsai, 2001), mások viszont a modalitások közötti interferenciáról számoltak be (Johnson és Zatorre, 2005; Berman és Colby, 2002). Kísérletünkben a fiataloknál feltételezhetően a vizuális és az akusztikus ingerek elkülönült rendszereken kerültek feldolgozásra, illetve ők jobbak voltak az irreleváns ingerek gátlásában. Az idők gátló működései kevésbé hatékonyak, ezért elképzelhető, hogy a különböző modalitásokból eredő aktiváció nem különült el, a képek hatását kevésbé tudták kiszűrni.

Míg az eddig tárgyalt folyamatok elsősorban a frontális lebeny működéséhez köthetők, a motoros válaszra való előkészület olyan kérgi területek bevonódását igényli, melyeket kevésbé érint az öregedés. Ennek megfelelően a CNV végére a csoportok közötti különbségek eltűntek. Az újabb folyamat elindulását jelezte, hogy a feladat helyzetekben az amplitúdó már minden esetben nagyobb volt, mint a kontroll során. Ezt az előkészületet a képek jelenléte, illetve tartalma már nem befolyásolta.

#### **6.4.3. Akusztikus kiváltott potenciálok**

A CNV és a VKP-k mellett vizsgáltuk a két hangingerre megjelenő AKP-kat is. Az öregedés a P3-t befolyásolta: mindkét hang után kisebb volt az amplitúdója és hosszabb a latenciája az időseknél. Az N1-nél csak az első hang után találtunk különbséget: a latencia megnőtt az időseknél. Ez azért is érdekes, mert a képekre náluk rövidebb N1 latenciát találtunk, mint a fiataloknál. Mivel az N1-et az életkori hatások még nem érintik, a különbség háttérben működésbeli eltérések állhatnak. A legvalószínűbb ok, hogy a fiatal csoportban a CNV kialakulása már a kép megjelenésekor elkezdődik, s ebben az értelemben az első hang egy elterelő (probe) ingernek tekinthető. A CNV szakaszára jellemző, hogy a kéreg facilitált állapotban van, izgathatóságának küszöbe csökken, melynek következtében az ebben a szakaszban érkező ingerek feldolgozása nagyobb mértékű (Rockstroh és mtsai, 1993), és ezért a latencia lerövidülhet. Mivel az időseknél csak a hangingerre jött létre a lassú negativitás, ilyen hatások nem javították a feldolgozást, ami miatt az N1 latenciája náluk rövidebb. Ezzel összhangban a latenciakülönbség a második hangra kapott N1 komponensnél már nem volt megfigyelhető.

A VKP-khoz képest abban is eltértek az AKP-k eredményei, hogy utóbbiak esetén az egyes komponensek eloszlása nem különbözött a csoportokban. A modalitás szerepére utal, hogy míg a korábban tárgyalt akusztikus oddball paradigmában szintén nem volt

különbség az eloszlásban, addig a vizuális oddball helyzetben eltért a két csoport. Elképzelhető egy olyan magyarázat is – ahogy korábbi értelmezésünkben is írtuk –, hogy míg a tiszta hangoknak nincs különösebb jelentősége, addig a képek komplex, részben érzelmi tartalmuknak köszönhetően más típusú feldolgozást igényelnek, amit az idős, a fiatalokhoz képest, kiterjedtebb kérgi aktivációval oldanak meg.

Hipotézisünkben feltételeztük, hogy az emocionális képek az arousal növelésén keresztül a kéreg facilitált állapotát idézik elő, melynek következtében az AKP-k amplitúdója nő. Azt találtuk, hogy az első és a második P3 komponens amplitúdója is nagyobb volt a képek jelenlétében, mint a kontroll vagy a kép nélküli feladat helyzetben, a második hang utáni N1 amplitúdója pedig az összes feladat helyzetben megnőtt a kontrollhoz képest. Helyzet főhatást kaptunk a két N1 komponens latenciájára is: a képek jelenlétében az orientáció gyorsabb volt. Nem kaptunk azonban különbséget a képek tartalma szerint, ami arra utal, hogy a fenti változások annak köszönhetőek, hogy a feladat helyzet (és az ezalatt kialakuló CNV) miatt a kéreg facilitált állapotba került, ami fokozta a feldolgozási folyamatokat. Ez a hatás azért jelenhetett meg már az első AKP-kra is, mert a kép megjelenése jelezte már, hogy hamarosan az első hang következik, s ezáltal elindulhatott egy aktivációs folyamat.

Ha az aktivációs hatásukban nem is tudtuk kimutatni a semleges és az emocionális tartalmú képek közötti különbséget, maguknak a képeknek mégis volt hatása, mivel a P3 komponensek amplitúdója nem nőtt az összes feladat helyzetben, csak akkor, ha képeket láttak a személyek.

Összegzésül megállapíthatjuk, hogy a képek emocionális tartalma az aktivációs szintet nem növelte a feladat helyzethez képest jelentős mértékben. Maguknak a képeknek a jelenléte, tehát egy elterelő inger megjelenése azonban egyértelműen befolyásolta a feldolgozási folyamatokat, mégpedig a fiatal és az idős csoportban eltérő módon. A fiatalok rugalmasan kezelték a helyzetet, és az instrukció ellenére, a vizuális ingert is a feladatban releváns információként használták fel, míg az idősök az instrukcióban meghatározott akusztikus feladattól nem tértek el, a képek által közvetített információt nem használták fel, viszont azok jelenléte és tartalma interferált az akusztikus feldolgozási folyamataikkal.

## 7. Összefoglalás

Kísérleteinkben az EEG elemzésével vizsgáltuk, milyen változások következnek be az öregedés során az idegrendszer működésében, s mely körülmények modulálják ezt a változást.

Eredményeink az általános elméletek közül a frontális hipotézis keretein belül értelmezhetők legjobban: kísérleti helyzeteinkben a frontális lebeny volt a legérzékenyebb az életkori hatásokra. Az Omega komplexitás és a szinkronizációs valószínűség már a nyugalmi EEG-ben kimutatta a csoportok közötti különbségeket, melyek az elülső területekre korlátozódtak. Ezen az állapotban is eltérő funkcionális háttérrel – ahol a fiatalok idegrendszere hatékonyabb kapcsolatrendszerrel jellemezhető, mint az időseké – valósultak meg a kognitív feldolgozás folyamatai. A vizsgált feladat helyzetekben is a legnagyobb életkori hatást a frontális területek bevonását igénylő komponensek jelezték: a P3a komponens érzékenyebb volt az öregedésre, mint a P3b, illetve míg a CNV korai szakaszán eltértek a csoportok, addig az egyéb agyterületek aktiválódását igénylő második szakaszban nem.

A frontális lebeny változásai a gátlási folyamatok romlását okozhatják, amely a helyzetek egy részében mérhetővé vált. Az időseknél nyugalmi állapotban mért magasabb komplexitás arra utal, hogy megnőtt az aktuális információ-feldolgozáshoz nem kapcsolódó folyamatok száma, csökkentve a specifikus folyamatok hatékonyságát, ami okozhatta például a különböző modalitásokból eredő aktivációs hatások interferenciáját.

Az öregedés során a szenzoros-perceptuális rendszerek korai folyamatai viszonylag érintetlenek maradtak, míg a kognitív működésekhez kapcsolódó későbbi folyamatok nagyobb mértékben változtak meg. Számos tényező befolyásolhatja a megfigyelhető különbségeket, ezért a feladat típusától függ, hogy találunk-e eltérést a korosztályok között. Egyszerűbb feladatokban az öregedés hatásai észrevétlenül maradhatnak, míg nehezebb, összetett helyzetekben hatványozottan jelentkezhetnek. Befolyásolhatja az inger érzelmi tartalma is az eredményeket: míg a semleges képek lekötötték az idősök számára elérhető kapacitásokat, az érzelmi töltet aktiváló hatása megszüntette az amplitúdó-különbségeket.

Az inger modalitásának, komplexitásának is jelentősége van: az egyszerű akusztikus ingerekre megjelenő komponensek eloszlása nem tért el a korcsoportokban, a komplex képek által kiváltott VKP komponenseié viszont igen; az idősök kiterjedtebb aktivációval reagáltak az ingerekre. Bár ezt a mintázatot többnyire kompenzációs

mechanizmusként értelmezzük, új perspektívát mutathat a neurális hatékonyság hipotézis (Haier és mtsai, 1988; Haier és mtsai, 1992) adaptálása az öregedés kutatásában, mely szerint az alacsonyabb és fókuszáltabb kérgi aktiváció nagyobb hatékonyságú neurális működést tükröz. Ilyen működésre lehetnek képesek az ún. „small-world” hálózatok (Watts és Strogatz, 1998), melyek optimális szerveződését a lokális kapcsolatok túlsúlya és kis számú távolabbi kapcsolat jellemzi. Későbbi vizsgálatokban érdemes lesz megvizsgálni, hogy az időseknél mennyire hatékony a „small-world” hálózat szerveződése.

Ezeknek a kísérleteknek a fő hozadéka, hogy feltérképezzük velük az agy plaszticitásának biológiai lehetőségeit, határait, mely később felhasználható az öregedés hatásainak kompenzálásában. Bizonyított, hogy az agy nem veszti el plaszticitását idős korban sem (Ball és mtsai, 2002, idézi (Nyberg, 2005), bár a fejlesztő tréningek már kisebb hatékonyságúak, mint a fiataloknál (Verhaeghen és mtsai, 1992).

Kutatásaink távlati célja az lehet, hogy meghatározzuk azokat a faktorokat, melyek az öregedés hatásaiért felelősek, és használható, megtanulható kompenzációs stratégiákat alakítsunk ki. Ezek akkor lehetnek hatékonyak, ha olyan alapvető kognitív folyamatokat érintenek, amik a laboratóriumból kilépve, a hétköznapi életben is relevánsak.

## Köszönetnyilvánítás

A disszertációban bemutatott kutatómunka az MTA Pszichológiai Kutatóintézetében zajlott, amelyhez minden munkatársam hozzájárult valamivel. Köszönöm, hogy olyan légkört teremtenek, amibe minden nap jó bemenni dolgozni.

Munkatársaim közül legtöbbet Dr. Molnár Márknak, témavezetőmnek köszönhetek, aki lehetőséget adott, hogy kutatócsoportja tagja legyek, megtanított az elektrofiziológiai kísérletezés részleteire, s akire az elmúlt évek során minden helyzetben számíthattam szakmai és személyes kérdésekben egyaránt.

Köszönettel tartozom Dr. Bányai Évának, akinek a hatására a kutatói pályára léptem, és azon maradtam, akitől a pszichológiai kísérletezés alapjait megtanultam.

Köszönöm Dr. Czigler Istvánnak szakmai észrevételeit és támogatását.

Nagyon sok segítséget kaptam a kísérletek megtervezésétől az adatok elemzéséig Csuhaj Rolandtól és Boha Rolandtól, amit ezúton is köszönök nekik.

Köszönöm Kaldenecker Erzsébet asszisztensi segítségét, és Tallósy Zoltánnak a kutatómunkám első éveiben nyújtott technikai segítségét.

Köszönetet mondok Czigler Balázsnak, Honbolygó Ferencnek és Tóth Dénesnek, hogy módszertani kérdéseimre mindig segítőkészen válaszoltak.

Természetesen ezek a vizsgálatok nem jöhettek volna létre a sok-sok vállalkozó kedvű kísérleti személy nélkül. Köszönöm közreműködésüket, türelmüket.

Végül, de nem utolsósorban szeretnék köszönetet mondani családomnak, barátaimnak. Köszönöm támogatásukat, észrevételeiket, szeretetüket.

# Melléklet – Pszichológiai tesztek

## Brickenkamp-féle d2 teszt

A Brickenkamp-féle d2 teszt (Brickenkamp, 1994) a teljesítmény tesztek kategóriájába tartozó papír-ceruza teszt. Méri a munkatempót és a pontosságot a hasonló vizuális ingerek megkülönböztetésénél, és ezzel lehetővé teszi a figyelmi és koncentrációs teljesítmény egyedi megítélését.

A tesztben d és p betűk vannak egy sorban, körülöttük 1-4 vessző látható. A ksz-nek az olyan d betűket kell áthúznia, amelyek körül két vessző van. Először egy gyakorlósort old meg, ami során meggyőződünk róla, hogy megértette-e a feladatot. Ezután következik a tényleges teszt. 14 sor van a lapon, s minden sorra 20 másodperce van a vsz-nek. Az időt a vizsgálatvezető jelzi. A személy feladata, hogy minél gyorsabban, és minél pontosabban dolgozzon.

## Betűfluencia teszt

Az általunk használt betűfluencia tesztet Pataky Ilona alakította ki Lezak (1995) módszere alapján. Arra kértük a ksz-ket, hogy 3x3 percen keresztül mondjanak minél több szót úgy, hogy az elhangzott szavak ne szerepeljenek többször se képzett, se ragozott formában, se szóösszetételben. Először „k”, majd „s” hanggal kezdődő szavakat kértünk, a harmadik helyzetben pedig bármilyen hanggal kezdődhetett a szó. Az elemzésekben az egyszer előforduló szavak számát (a fluenciát) és a perszeverációkat használtuk fel.

## Raven Haladó Progresszív Mátrixok

A Raven APM (Advanced Progressive Matrices – Haladó Progresszív Mátrixok) (Raven, 1962) arra készült, hogy magas intelligenciájú emberek között tegyen különbséget. Két részből áll. Az I. sorozat 12 feladatból áll, s gyakorlásként használtuk fel, a tesztzel való megismerkedésre. A II. sorozat a tesztnek az a része, amit értékelünk. 36 feladatból áll, melyek az I. sorozathoz hasonlóak, bár valamivel nehezebbek, komplexebbek. Ezt a részt 40 perces időkorláttal vettük fel. Minden oldalon egy rejtvény van, mely bizonyos szabály szerint változik a sorokban és az oszlopokban is. Minden mintából hiányzik egy kép, melyet a ksz-nek kell megtalálnia az alul bemutatott 8 ábrából.

## Watkins nyomra illeszkedő eljárása

Ez a teszt a rövid távú emlékezet számterjedelmét vizsgálja. Watkins (1977, idézi (Varga, Düll és Gösiné, 1992) módszerének lényege, hogy a számsor terjedelmét nagyjából egy szinten tartja, s ennek következtében a vizsgálati személy valószínűleg nem vált stratégiát a feladat végrehajtása közben.

A vizsgálat első lépésében a vizsgálatvezető 3 számot mond, amit a ksz-nek meg kell ismételnie azonos sorrendben. Helyes felidézés után mindig eggyel növeljük a tételek számát. Az első hiba után térünk át a tényleges mérésre. Az első számsor hossza megegyezik a legtöbb helyesen felidézett egység számával. Minden jó visszamondás után eggyel növeljük, rossz visszamondás után pedig csökkentjük a tétel sor elemeinek számát. Az eljárás addig tart, amíg 10 hibátlan próba össze nem gyűlik. Ezek átlaga adja a ksz rövid távú emlékezetének terjedelmét.

## Irodalomjegyzék

Aftanas, L. I. és Golocheikine, S. A. (2002). Non-linear dynamic complexity of the human EEG during meditation. *Neuroscience Letters*, 330, 143-146.

Aftanas, L. I., Koshkarov, V. I., Mordvintsev, Y. N., és Pokrovskaja, V. L. (1994). Dimensional analysis of human EEG during experimental affective experience. *International Journal of Psychophysiology*, 18, 67-70.

Allen, P. A. (1990). Influence of Processing Variability on Adult Age-Differences in Memory Distribution of Order Information. *Cognitive Development*, 5, 177-192.

Allen, P. A. (1991). On age differences in processing variability and scanning speed. *Journal of Gerontology*, 46, 191-201.

Altenmüller, E. O. (1993). Psychophysiology and EEG. In E.Niedermeyer és F. Lopes de Silva (Eds.), *Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields* (3 ed., pp. 597-608). Baltimore: Williams és Wilkins.

Amenedo, E. és Diaz, F. (1998). Aging-related changes in processing of non-target and target stimuli during an auditory oddball task. *Biological Psychology*, 48, 235-267.

Anderer, P., Semlitsch, H. V., és Saletu, B. (1996). Multichannel auditory event-related brain potentials: effects of normal aging on the scalp distribution of N1, P2, N2 and P300 latencies and amplitudes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 458-472.

Anderson, N. D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A. R., és Craik, F. I. M. (2000). The effects of divided attention on encoding- and retrieval-related brain

activity: A PET study of younger and older adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 775-792.

Anokhin, A. P., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Nikolaev, A., és Vogel, F. (1996). Age increases brain complexity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 63-68.

Azari, N. P., Rapoport, S. I., Salerno, J. A., Grady, C. L., Gonzalezaviles, A., Schapiro, M. B. és mtsai (1992). Interregional Correlations of Resting Cerebral Glucose-Metabolism in Old and Young-Women. *Brain Research*, 589, 279-290.

Baltes, P. B. és Lindenberger, U. (1997). Emergence of a Powerful Connection Between Sensory and Cognitive Functions Across the Adult Life Span: A New Window to the Study of Cognitive Aging? *Psychology and Aging*, 12, 12-21.

Barcelo, F., Suwazono, S., és Knight, R. T. (2000). Prefrontal modulation of visual processing in humans. *Nat.Neurosci.*, 3, 399-403.

Bares, M. és Rektor, I. (2001). Basal ganglia involvement in sensory and cognitive processing. A depth electrode CNV study in human subjects. *Clinical Neurophysiology*, 112, 2022-2030.

Barrett, G., Neshige, R., és Shibasaki, H. (1987). Human auditory and somatosensory event-related potentials: effects of response condition and age. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 66, 409-419.

Bashore, Jr. T. R. (1990). Age-related changes in mental processing revealed by analyses of event-related brain potentials. In J.W.Rohrbaugh, R. Parasuraman, és Jr. R. Johnson (Eds.), *Event-Related Brain Potentials* (pp. 242-275). New York, Oxford: Oxford University Press.



Basile, L. F. H., Rogers, R. L., Bourbon, W. T., és Papanicolaou, A. C. (1994). Slow Magnetic-Flux from Human Frontal-Cortex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 90, 157-165.

Belliveau, J. W., Kennedy, D. N., Jr., McKinstry, R. C., Buchbinder, B. R., Weisskoff, R. M., Cohen, M. S. és mtsai (1991). Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. *Science*, 254, 716-719.

Bennett, I. J., Golob, E. J., és Starr, A. (2004). Age-related differences in auditory event-related potentials during a cued attention task. *Clinical Neurophysiology*, 115, 2602-2615.

Berman, R. A. és Colby, C. L. (2002). Auditory and visual attention modulate motion processing in area MTC. *Cognitive Brain Research*, 14, 64-74.

Besthorn, C., Sattel, H., Geigerkabisch, C., Zeffass, R., és Forstl, H. (1995). Parameters of EEG Dimensional Complexity in Alzheimers-Disease. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 95, 84-89.

Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A. G., és Rockstroh, B. (1990). Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. *Physiol Rev.*, 70, 1-41.

Bizas, E., Simos, P. G., Stam, C. J., Arvanitis, S., Terzakis, D., és Micheloyannis, S. (1999). EEG correlates of cerebral engagement in reading tasks. *Brain Topogr.*, 12, 99-105.

Bledowski, C., Prvulovic, D., Hoechstetter, K., Scherg, M., Wibral, M., Goebel, R. és mtsai (2004). Localizing P300 generators in visual target and distractor processing: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 24, 9353-9360.

Brickman, A. M., Paul, R. H., Cohen, R. A., Williams, L. M., MacGregor, K. L., Jefferson, A. L. és mtsai (2005). Category and letter verbal fluency across the adult lifespan: relationship to EEG theta power. *Archives of Clinical Neuropsychology*.

Brown, W. S., Marsh, J. T., és LaRue, A. (1983). Exponential electrophysiology of aging: P3 latency. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55, 277-285.

Brunia, C. H. M. (1993). Waiting in Readiness - Gating in Attention and Motor Preparation. *Psychophysiology*, 30, 327-339.

Brunia, C. H. M. és van Boxtel, G. J. M. (2001). Wait and see. *International Journal of Psychophysiology*, 43, 59-75.

Cabeza, R. (2002). Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.

Cabeza, R., Grady, Ch. G., Nyberg, L., McIntosh, A. R., Tulving, E., Kapur, S. és mtsai (1997). Age-related differences in neural activity during memory encoding and retrieval: A Positron Emission Tomography study. *Journal of Neuroscience*, 17, 391-400.

Cacioppo, J. T. és Berntson, G. G. (1994). Relationship Between Attitudes and Evaluative Space - A Critical-Review, with Emphasis on the Separability of Positive and Negative Substrates. *Psychological Bulletin*, 115, 401-423.

Cacioppo, J. T., Gardner, W. L., és Berntson, G. G. (1999). The affect system has parallel and integrative processing components: Form follows function. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 839-855.

Cano, M. E., Class, Q. A., és Polich, J. (2009). Affective valence, stimulus attributes, and P300: Color vs. black/white and normal vs. scrambled images. *International Journal of Psychophysiology*, 71, 17-24.

Carretie, L., Albert, J., Lopez-Martin, S., és Tapia, M. (2009). Negative brain: An integrative review on the neural processes activated by unpleasant stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 71, 57-63.

Carretie, L., Hinojosa, J. A., Martin-Loeches, M., Mercado, F., és Tapia, M. (2004). Automatic attention to emotional stimuli: Neural correlates. *Human Brain Mapping*, 22, 290-299.

Carretie, L., Martin-Loeches, M., Hinojosa, J. A., és Mercado, F. (2001a). Emotion and attention interaction studied through event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 1109-1128.

Carretie, L., Mercado, F., Tapia, M., és Hinojosa, J. A. (2001b). Emotion, attention, and the 'negativity bias', studied through event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 75-85.

Ceponiene, R., Westerfield, M., Torki, M., és Townsend, J. (2008). Modality-specificity of sensory aging in vision and audition: Evidence from event-related potentials. *Brain Research*, 1215, 53-68.

Cerella, J. (1985). Information Processing Rates in the Elderly. *Psychological Bulletin*, 98, 67-83.

Charles, S. T., Mather, M., és Carstensen, L. L. (2003). Aging and emotional memory: The forgettable nature of negative images for older adults. *Journal of Experimental Psychology-General*, 132, 310-324.

Codispoti, M., Ferrari, V., és Bradley, M. M. (2007). Repetition and event-related potentials: Distinguishing early and late processes in affective picture perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 577-586.

Craik, F. I. M. (1986). A functional account of age differences in memory. In F.Lix és H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and ognitive capabilities, mechanisms, and performances* (pp. 499-522). Amsterdam: Elsevier.

Craik, F. I. M. és Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attention resources. In F.I.M.Craik és S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes* (pp. 191-211). New York: Plenum.

Craik, F. I. M., Morris, L. W., Morris, R. G., és Loewen, E. R. (1990). Relations Between Source Amnesia and Frontal Lobe Functioning in Older Adults. *Psychology and Aging*, 5, 148-151.

Crowley, K. E. és Colrain, I. M. (2004). A review of the evidence for P2 being an independent component process: age, sleep and modality. *Clinical Neurophysiology*, 115, 732-744.

Czigler, B., Csikós, D., Hidasi, Z., Gaál, Zs. A., Csibri, É., Kiss, É. és mtsai (2008). Quantitative EEG in early Alzheimer's disease patients - Power spectrum and complexity features. *International Journal of Psychophysiology*, 68, 75-80.

Czigler, I. (2000). Megismerési folyamatok változása felnőttkorban. In I.Czigler (Ed.), *Túl a fiatalságon - Megismerési folyamatok időskorban* (1 ed., pp. 11-130). Budapest: Akadémiai Kiadó.

Czigler, I. (2002). *Pszichofiziológia: Megismerés és aktiváció*. Debrecen: Kossuth Egyetemi Kiadó.

Czigler, I. (2003). *Figyelem és percepció*. Debrecen: Kossuth Egyetemi Kiadó.

Czigler, I. és Balázs, L. (2005). Age-related effects of novel visual stimuli in a letter-matching task: an event-related potential study. *Biological Psychology*, 69, 229-242.

Czigler, I., Csibra, G., és Ambró, Á. (1994). Event-related potentials and aging: Identification of deviant visual stimuli. *Journal of Psychophysiology*, 8, 193-210.

Daffner, K. R., Mesulam, M. M., Scinto, L. F., Acar, D., Calvo, V., Faust, R. és mtsai (2000). The central role of the prefrontal cortex in directing attention to novel events. *Brain*, 123 (Pt 5), 927-939.

Daffner, K. R., Ryan, K. K., Williams, D. M., Budson, A. E., Rentz, D. M., Wolk, D. A. és mtsai (2006). Age-related differences in attention to novelty among cognitively high performing adults. *Biological Psychology*, 72, 67-77.

De Jong, R., Coles, M. G. H., és Logan, G. D. (1995). Strategies and Mechanisms in Nonselective and Selective Inhibitory Motor Control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 498-511.

Debener, S., Makeig, S., Delorme, A., és Engel, A. K. (2005). What is novel in the novelty oddball paradigm? Functional significance of the novelty P3 event-related potential as revealed by independent component analysis. *Cognitive Brain Research*, 22, 309-321.

Degrell, I. (2000). A központi idegrendszer változásai öregedésben. In I.Czigler (Ed.), *Túl a fiatalságon - Megismerési folyamatok időskorban* (1 ed., pp. 131-136). Budapest: Akadémiai Kiadó.

Delbeuck, X., Van der, L. M., és Collette, F. (2003). Alzheimer's disease as a disconnection syndrome? *Neuropsychol.Rev.*, 13, 79-92.

Delplanque, S., Lavoie, M. E., Hot, P., Silvert, L., és Sequeira, H. (2004). Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans. *Neuroscience Letters*, 356, 1-4.

Delplanque, S., N'diaye, K., Scherer, K., és Grandjean, D. (2007). Spatial frequencies or emotional effects? A systematic measure of spatial frequencies for IAPS pictures by a discrete wavelet analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 165, 144-150.

Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., Rigoulot, S., és Sequeira, H. (2006a). Arousal and valence effects on event-related P3a and P3b during emotional categorization. *International Journal of Psychophysiology*, 60, 315-322.

Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., és Sequeira, H. (2006b). Attentional modulation of appraisal in emotion: The case of the P3b. *Psychophysiology*, 43, S7.

Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., és Sequeira, H. (2005). Event-related P3a and P3b in response to unpredictable emotional stimuli. *Biological Psychology*, 68, 107-120.

Dennis, N. A. és Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. In F.I.M.Craik és T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition* (3rd ed., pp. 1-54). New York and Hove: Psychology Press.

Dimberger, G., Lalouschek, W., Lindinger, G., Egkher, A., Deecke, L., és Lang, W. (2000). Reduced activation of midline frontal areas in human elderly subjects: a contingent negative variation study. *Neuroscience Letters*, 280, 61-64.

Dobbs, A. R. és Rule, B. G. (1989). Adult age differences in working memory. *Psychology and Aging*, 4, 500-503.

Donchin, E. és Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Brain Behavioral Science*, 11, 357-374.

Donchin, E., Kramer, A. F., és Wickens, C. D. (1986). Applications of event-related brain potentials to problems in engineering psychology. In M.G.H.Coles, E. Donchin, és S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, Processes, and Applications* (pp. 702-718). New York: Guilford.

Duffy, F. H., Mcanulty, G. B., és Albert, M. S. (1993). The Pattern of Age-Related Differences in Electrophysiological Activity of Healthy-Males and Females. *Neurobiology of Aging*, 14, 73-84.

Duncan-Johnson, C. C. és Donchin, E. (1982). The P300 component of the event-related potential as an index of information processing. *Biological Psychology*, 14, 1-52.

Esposito, G., Kirkby, B. S., Van Horn, J. D., Ellmore, T. M., és Berman, K. F. (1999). Context-dependent, neural system-specific neurophysiological concomitants of ageing: mapping PET correlates during cognitive activation. *Brain*, 122, 963-979.

Esteves, F., Parra, C., Dimberg, U., és Ohman, A. (1994). Nonconscious Associative Learning - Pavlovian Conditioning of Skin-Conductance Responses to Masked Fear-Relevant Facial Stimuli. *Psychophysiology*, 31, 375-385.

Falkenstein, M., Hoormann, J., Hohnsbein, J., és Kleinsorge, T. (2003). Short-term mobilization of processing resources is revealed in the event-related potential. *Psychophysiology*, 40, 914-923.

Falkenstein, M., Hoormann, J., és Hohnsbein, J. (2002). Inhibition-related ERP components: Variation with modality, age, and time-on-task. *Journal of Psychophysiology*, 16, 167-175.

Ferrandez, AM. és Pouthas, V. (2001). Does cerebral activity change in middle-aged adults in a visual discrimination task? *Neurobiology of Aging*, 22, 645-657.

Filipovic, S. R., Jahanshahi, M., és Rothwell, J. C. (2001). Uncoupling of contingent negative variation and alpha band event-related desynchronization in a go/no-go task. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1307-1315.

Fisch, B. J. (1991). *Spelmann's EEG primer*. (2nd ed.) Amsterdam: Elsevier.

Fisk, J. E. és Warr, P. (1996). Age and working memory: the role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop. *Psychology and Aging*, 11, 316-323.

Fjell, A. M. és Walhovd, K. B. (2004). Life-span changes in P3a. *Psychophysiology*, 41, 575-583.

Ford, J. M., Pfefferbaum, A., és Kopell, B. S. (1982). Effects of perceptual and cognitive difficulty on P3 and RT in young and old adults. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 54, 311-321.

Fox, P. T., Mintun, M. A., Raichle, M. E., Miezin, F. M., Allman, J. M., és Van, E. (1986). Mapping human visual cortex with positron emission tomography. *Nature*, 323, 806-809.



Friedman, D. (2003). Cognition and aging: a highly selective overview of event-related potential (ERP) data. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 702-720.

Friedman, D., Cycowicz, Y. M., és Gaeta, H. (2001). The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25, 355-373.

Friedman, D., Kazmerski, V. A., és Cycowicz, Y. M. (1998). Effects of aging on the novelty P3 during attend and ignore oddball tasks. *Psychophysiology*, 35, 508-520.

Friedman, D., Kazmerski, V., és Fabiani, M. (1997). An overview of age-related changes in the scalp distribution of P3b. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104, 498-513.

Friedman, D., Simpson, G., és Hamberger, M. (1993). Age-related changes in scalp topography to novel and target stimuli. *Psychophysiology*, 30, 383-396.

Fristoe, N. M., Salthouse, T. A., és Woodard, J. L. (1997). Examination of Age-Related Deficits on the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychology*, 11, 428-436.

Garcia-Larrea, L., Lukaszewicz, A. C., és Mauguiere, F. (1992). Revisiting the oddball paradigm. Non-target vs neutral stimuli and the evaluation of ERP attentional effects. *Neuropsychologia*, 30, 723-741.

Gasser, T., Verleger, R., Bacher, P., és Sroka, L. (1988). Development of the Eeg of School-Age Children and Adolescents .1. Analysis of Band Power. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69, 91-99.

Gavazzeni, J., Wiens, S., és Fischer, H. (2008). Age effects to negative arousal differ for self-report and electrodermal activity. *Psychophysiology*, 45, 148-151.

Goldberg, G. (1985). Supplementary Motor Area Structure and Function - Review and Hypotheses. *Behavioral and Brain Sciences*, 8, 567-588.

Golob, E. J., Ovasapyan, V., és Starr, A. (2005). Event-related potentials accompanying motor preparation and stimulus expectancy in the young, young-old and oldest-old. *Neurobiology of Aging*, 26, 531-542.

Gomez, C. M., Marco, J., és Grau, C. (2003). Preparatory visuo-motor cortical network of the contingent negative variation estimated by current density. *Neuroimage*, 20, 216-224.

Goodin, D. S., Squires, K. C., Henderson, B. H., és Starr, A. (1978). Age-related variations in evoked potentials to auditory stimuli in normal human subjects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 44, 447-458.

Grady, C. L., Maisog, J. M., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Salerno, J. A. és mtsai (1994). Age-Related-Changes in Cortical Blood-Flow Activation During Visual Processing of Faces and Location. *Journal of Neuroscience*, 14, 1450-1462.

Gunning-Dixon, F. M., Gur, R. C., Perkins, A. C., Schroeder, L., Turner, T., Turetsky, B. I. és mtsai (2003). Age-related differences in brain activation during emotional face processing. *Neurobiology of Aging*, 24, 285-295.

Haier, R. J., Siegel, B., Tang, C., Abel, L., és Buchsbaum, M. S. (1992). Intelligence and Changes in Regional Cerebral Glucose Metabolic-Rate Following Learning. *Intelligence*, 16, 415-426.

Haier, R. J., Siegel, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J. C., Paek, J. és mtsai (1988). Cortical Glucose Metabolic-Rate Correlates of Abstract Reasoning and Attention Studied with Positron Emission Tomography. *Intelligence*, 12, 199-217.

Hamano, T., Luders, H. O., Ikeda, A., Collura, T. F., Comair, Y. G., és Shibasaki, H. (1997). The cortical generators of the contingent negative variation in humans: A study with subdural electrodes. *Evoked Potentials-Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104, 257-268.

Hartman, M., Bolton, E., és Fehnel, Sh. E. (2001). Accounting for Age Differences on the Wisconsin Card Sorting Test: Decreased Working Memory, Not Inflexibility. *Psychology and Aging*, 16, 385-399.

Hasher, L., Stoltzfus, E. R., Zacks, R. T., és Rypma, B. (1991). Age and inhibition. *Journal of Experimental Psychology*, 17, 163-169.

Hasher, L. és Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G.Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 193-225). San Diego: Academic Press.

Haug, H. és Eggers, R. (1991). Morphometry of the human cortex cerebri and corpus striatum during aging. *Neurobiology of Aging*, 12, 336-338.

Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., és Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, 39, 303-312.

Hohnsbein, J., Falkenstein, M., és Hoormann, J. (1998). Performance differences in reaction tasks are reflected in event-related brain potentials (ERPs). *Ergonomics*, 41, 622-633.

Horwitz, B., Duara, R., és Rapoport, S. I. (1986). Age-Differences in Intercorrelations Between Regional Cerebral Metabolic Rates for Glucose. *Annals of Neurology*, 19, 60-67.

Hultin, L., Rossini, P., Romani, G. L., Hogstedt, P., Tecchio, F., és Pizzella, V. (1996). Neuromagnetic localization of the late component of the contingent negative variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98, 435-448.

Ichise, M., Ballinger, J. R., Tanaka, F., Moscovitch, M., St George-Hyslop, P. H., Raphael, D. és mtsai (1998). Age-related changes in D-2 receptor binding with iodine-123-iodobenzofuran SPECT. *Journal of Nuclear Medicine*, 39, 1511-1518.

Ikeda, A., Shibasaki, H., Kaji, R., Terada, K., Nagamine, T., Honda, M. és mtsai (1997). Dissociation between contingent negative variation (CNV) and Bereitschaftspotential (BP) in patients with parkinsonism. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 142-151.

Inoue, M., Suhara, T., Sudo, Y., Okubo, Y., Yasuno, F., Kishimoto, T. és mtsai (2001). Age-related reduction of extrastriatal dopamine D-2 receptor measured by PET. *Life Sciences*, 69, 1079-1084.

Iragui, V. J., Kutas, M., Mitchiner, M. R., és Hillyard, S. A. (1993). Effects of aging on event-related brain potentials and reaction times in an auditory oddball task. *Psychophysiology*, 30, 10-22.

Isingrini, M. és Vazou, F. (1997). Relation between fluid intelligence and frontal lobe functioning in older adults. *International Journal of Aging and Human Development*, 45, 99-109.

Ito, T., Cacioppo, J. T., és Lang, P. J. (1998a). Eliciting affect using the international affective picture system: Trajectories through evaluative space. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 24, 855-879.

Ito, T. A., Larsen, J. T., Smith, N. K., és Cacioppo, J. T. (1998b). Negative information weighs more heavily on the brain: The negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75, 887-900.

Jacques, P. St., Dolcos, F., és Cabeza, R. (2009). Effects of aging on functional connectivity of the amygdala during negative evaluation: A network analysis of fMRI data. *Neurobiology of Aging*.

Jodo, E. és Katayama, Y. (1992). Relation of a negative ERP component to response inhibition in a Go/Nogo task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82, 477-482.

John, E. R., Ahn, H., Prichep, L., Trepetin, M., Brown, D., és Kaye, H. (1980). Developmental Equations for the Electroencephalogram. *Science*, 210, 1255-1258.

Johnson, J. A. és Zatorre, R. J. (2005). Attention to simultaneous unrelated auditory and visual events: Behavioral and neural correlates. *Cerebral Cortex*, 15, 1609-1620.

Johnson, R., Jr. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 23, 367-384.

Junghofer, M., Bradley, M. M., Elbert, T. R., és Lang, P. J. (2001). Fleeting images: A new look at early emotion discrimination. *Psychophysiology*, 38, 175-178.

Junghofer, M., Schupp, H. T., Stark, R., és Vaitl, D. (2005). Neuroimaging of emotion: empirical effects of proportional global signal scaling in fMRI data analysis. *NeuroImage*, 25, 520-526.

Kaasinen, V., Vilkmán, H., Hietala, J., Nagren, K., Helenius, H., Olsson, H. és mtsai (2000). Age-related dopamine D2/D3 receptor loss in extrastriatal regions of the human brain. *Neurobiology of Aging*, 21, 683-688.

Katayama, J. I. és Polich, J. (1996). P300 from one-, two-, and three-stimulus auditory paradigms. *International Journal of Psychophysiology*, 23, 33-40.

Keil, A., Müller, M. M., Gruber, T., Wienbruch, C., Stolarova, M., és Elbert, T. (2001). Effects of emotional arousal in the cerebral hemispheres: a study of oscillatory brain activity and event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 112, 2057-2068.

Kemp, A. H., Pierson, J. M., és Helme, R. D. (2001). Quantitative electroencephalographic changes induced by odor detection and identification tasks: age related effects. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 33, 95-107.

Kikuchi, M., Wada, Y., Koshino, Y., Nanbu, Y., és Hashimoto, T. (2000). Effect of normal aging upon interhemispheric EEG coherence: Analysis during rest and photic stimulation. *Clinical Electroencephalography*, 31, 170-174.

Klass, D. W. és Brenner, R. P. (1995). Electroencephalography of the Elderly. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 12, 116-131.

Klimesch, W. (1997). EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 26, 319-340.

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.

Klimesch, W., Sauseng, P., és Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53, 63-88.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., és Ripper, B. (1997). Theta synchronization and alpha desynchronization in a memory task. *Psychophysiology*, 34, 169-176.

Knight, R. T. (1997). Distributed cortical network for visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 75-91.

Knight, R. T. (1990). Neural mechanisms of event-related potentials: Evidence from human lesion studies. In J.W.Rohrbaugh, R. Parasuraman, és R. Jr. Johnson (Eds.), *Event-Related Brain Potentials - Basic Issues and Applications* (pp. 3-18). New York, Oxford: Oxford University Press.

Knight, R. T. (1987). Aging decreases auditory event-related potentials to unexpected stimuli in humans. *Neurobiology of Aging*, 8, 109-113.

Kok, A. (2000). Age-related changes in involuntary and voluntary attention as reflected in components of the event-related potential (ERP). *Biological Psychology*, 54, 107-143.

Kondákor, I., Brandeis, D., Wackermann, J., Kochi, K., Koenig, T., Frei, E. és mtsai (1997). Multichannel EEG fields during and without visual input: frequency domain model source locations and dimensional complexities. *Neuroscience Letters*, 226, 49-52.

Kononen, M. és Partanen, J. V. (1993). Blocking of EEG Alpha-Activity During Visual Performance in Healthy-Adults - A Quantitative Study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87, 164-166.

Kopp, B., Mattler, U., Goertz, R., és Rist, F. (1996). N2, P3 and the lateralized readiness potential in a nogo task involving selective response priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 19-27.

Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., Logan, G. D., és Strayer, D. L. (1994). Aging and Inhibition: Beyond a Unitary View of Inhibitory Processing in Attention. *Psychology and Aging*, 9, 491-512.

Kutas, M., McCarthy, G., és Donchin, E. (1977). Augmenting Mental Chronometry: The P300 as a Measure of Stimulus Evaluation Time. *Science*, 197, 792-795.

Lang, P. J., Bradley, M. M., és Cuthbert, B. N. (2005). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-6. University of Florida, Gainesville, FL.

Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B. és mtsai (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35, 199-210.

Lang, P. J., Bradley, M. M., és Cuthbert, B. N. (1997). Motivated attention: affect, activation and action. In P.J.Lang, R. F. Simons, és M. Balaban (Eds.), *Attention and Emotion: Sensory and Motivational Processes* (pp. 97-135). Mahwah, NJ: Erlbaum.



Langeslag, S. J. E. és Van Strien, J. W. (2008). Age differences in the emotional modulation of ERP old/new effects. *International Journal of Psychophysiology*, 70, 105-114.

Leenders, K. L., Perani, D., Lammertsma, A. A., Heather, J. D., Buckingham, P., Healy, M. J. R. és mtsai (1990). Cerebral Blood-Flow, Blood-Volume and Oxygen Utilization - Normal Values and Effect of Age. *Brain*, 113, 27-47.

Lehnertz, K. és Elger, C. E. (1995). Spatio-temporal dynamics of the primary epileptogenic area in temporal lobe epilepsy characterized by neuronal complexity loss. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 95, 108-117.

Levenson, R. W., Friesen, W. V., Ekman, P., és Carstensen, L. L. (1991). Emotion, Physiology, and Expression in Old-Age. *Psychology and Aging*, 6, 28-35.

Linden, D. E. (2005). The P300: where in the brain is it produced and what does it tell us? *Neuroscientist*, 11, 563-576.

Lindenberger, U. és Baltes, P. B. (1994). Sensory Functioning and Intelligence in Old-Age - A Strong Connection. *Psychology and Aging*, 9, 339-355.

Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., és Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: Dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33, 827-840.

Lorenzo-Lopez, L., Amenedo, E., Pazo-Alvarez, P., és Cadaveira, F. (2007). Visual target processing in high- and low-performing older subjects indexed by P3 component. *Neurophysiologie Clinique-Clinical Neurophysiology*, 37, 53-61.

Lorist, M. M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., De Jong, R., Mulder, G., és Meijman, T. F. (2000). Mental fatigue and task control: Planning and preparation. *Psychophysiology*, 37, 614-625.

Loveless, N. E. (1976). Distribution of response to non-signal stimuli. In W.C.McCallum és J. R. Knott (Eds.), *The Responsive Brain* (pp. 26-29). Bristol: J. Wright and Sons.

Loveless, N. E. és Sanford, A. J. (1974). Effects of Age on the Contingent Negative Variation and Preparatory Set in a Reaction-Time Task. *Journal of Gerontology*, 29, 52-63.

Madden, D. J., Spaniol, J., Whiting, W. L., Bucur, B., Provenzale, J. M., Cabeza, R. és mtsai (2007). Adult age differences in the functional neuroanatomy of visual attention: A combined fMRI and DTI study. *Neurobiology of Aging*, 28, 459-476.

Marciani, M. G., Maschio, M., Spanedda, F., Caltagirone, C., Gigli, G. L., és Bernardi, G. (1994). Quantitative EEG evaluation in normal elderly subjects during mental processes: age-related changes. *International Journal of Neuroscience*, 76, 131-140.

Marton, M. és Bakay, P. É. (1994). Negatív és pozitív lassú agyi hullámok funkcionális jelentése. *Pszichológia*, 14, 3-21.

Mather, M., Canli, T., English, T., Whitfield, S., Wais, P., Ochsner, K. és mtsai (2004). Amygdala responses to emotionally valenced stimuli in older and younger adults. *Psychological Science*, 15, 259-263.

Mather, M. és Carstensen, L. L. (2005). Aging and motivated cognition: the positivity effect in attention and memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 496-502.

Mather, M. és Carstensen, L. L. (2003). Aging and attentional biases for emotional faces. *Psychological Science*, 14, 409-415.

Mathews, A. és Macleod, C. (1994). Cognitive Approaches to Emotion and Emotional Disorders. *Annual Review of Psychology*, 45, 25-50.

Mayr, U. és Kliegl, R. (1993). Sequential and Coordinative Complexity: Age-Based Processing Limitations in Figural Transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1297-1320.

Mayr, U., Spieler, D. H., és Kliegl, R. (2001). Introduction. In U. Mayr, D. H. Spieler, és R. Kliegl (Eds.), *Ageing and executive control* (pp. 1-4). Southampton: Psychology Press.

McCarthy, G. és Donchin, E. (1983). Chronometric analysis of human information processing. In A.W.K. Gaillard és W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event-related potential research: endogenous components* (pp. 251-268). Amsterdam, ew York, Oxford: North-Holland Publishing Company.

McDowd, J. és Filion, D. (1992). Aging, selective attention, and inhibitory processes: a psychophysiological approach. *Psychology and Aging*, 7, 65-71.

McEvoy, L. K., Pellouchoud, E., Smith, M. E., és Gevins, A. (2001). Neurophysiological signals of working memory in normal aging. *Cognitive Brain Research*, 11, 363-376.

Michalewski, H. J., Thompson, L. W., Smith, D. B. D., Patterson, J. V., Bowman, Th. E., Litzelman, D. és mtsai (1980). Age Differences in the Contingent Negative Variation (CNV): Reduced Frontal Activity in the Elderly. *Journal of Gerontology*, 35, 542-549.

Michie, P. T., Solowij, N., Crawford, J. M., és Glue, L. C. (1993). The Effects of Between-Source Discriminability on Attended and Unattended Auditory Erps. *Psychophysiology*, 30, 205-220.

Miyamoto, T., Katayama, J. I., és Koyama, Ts. (1998). ERPs, semantic processing and age. *International Journal of Psychophysiology*, 29, 43-51.

Molnár, M. (1994). On the origin of the P3 event-related potential component. *International Journal of Psychophysiology*, 17, 129-144.

Molnár, M., Csuha, R., Gaál, Zs. A., Czigler, B., Ulbert, I., Boha, R. és mtsai (2008). Spectral characteristics and linear-nonlinear synchronization changes of different EEG frequency bands during the CNV. *Psychophysiology*, 45, 412-419.

Molnár, M., Csuha, R., Horváth, S., Vastagh, I., Gaál, Zs. A., Czigler, B. és mtsai (2006). Spectral and complexity features of the EEG changed by visual input in a case of subcortical stroke compared to healthy controls. *Clinical Neurophysiology*, 117, 771-780.

Molnár, M., Osman-Sági, J., Nagy, Z., és Kenez, J. (1999). Scalp distribution of the dimensional complexity of the EEG and the P3 ERP component in stroke patients. *International Journal of Psychophysiology*, 34, 53-63.

Molnár, M., Skinner, J. E., Csépe, V., Winkler, I., és Karmos, G. (1995). Correlation dimension changes accompanying the occurrence of the mismatch negativity and the P3 event-related potential component. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 95, 118-126.

Muller-Gass, A., Macdonald, M., Schroger, E., Sculthorpe, L., és Campbell, K. (2007). Evidence for the auditory P3a reflecting an automatic process: Elicitation during highly-focused continuous visual attention. *Brain Research*, 1170, 71-78.

Niedermeyer, E. (1997). Alpha rhythms as physiological and abnormal phenomena. *International Journal of Psychophysiology*, 26, 31-49.

Nielson, K. A., Langenecker, S. A., és Garavan, H. (2002). Differences in the Functional Neuroanatomy of Inhibitory Control Across the Adult Life Span. *Psychology and Aging*, 17, 56-71.

Nyberg, L. (2005). Cognitive training in healthy aging: A cognitive neuroscience perspective. In R.Cabeza, L. Nyberg, és D. Park (Eds.), *Cognitive neuroscience of aging* (pp. 309-321). New York: Oxford University Press.

O'Sullivan, M., Jones, D. K., Summers, P. E., Morris, R. G., Williams, S. C., és Markus, H. S. (2001). Evidence for cortical "disconnection" as a mechanism of age-related cognitive decline. *Neurology*, 57, 632-638.

Obriest, W. D. (1976). Problems of aging. In A.Rémond (Ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* (pp. 275-292). Amsterdam: Elsevier.

Ohman, A. és Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, 108, 483-522.

Ohman, A. és Soares, J. J. F. (1998). Emotional conditioning to masked stimuli: Expectancies for aversive outcomes following nonrecognized fear-relevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology-General*, 127, 69-82.

Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H., és Polich, J. (2008). Affective picture processing: An integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77, 247-265.

Olofsson, J. K. és Polich, J. (2007). Affective visual event-related potentials: Arousal, repetition, and time-on-task. *Biological Psychology*, 75, 101-108.

Pantano, P., Baron, J. C., Lebrungrandie, P., Duquesnoy, N., Bousser, M. G., és Comar, D. (1984). Regional Cerebral Blood-Flow and Oxygen-Consumption in Human Aging. *Stroke*, 15, 635-641.

Patterson, J. V., Michalewski, H. J., és Starr, A. (1988). Latency variability of the components of auditory event-related potentials to infrequent stimuli in aging Alzheimer-type dementia and depression. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 71, 450-460.

Pennebaker, J. W. és Stone, L. D. (2003). Words of wisdom: Language use over the life span. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85, 291-301.

Pfefferbaum, A., Adalsteinsson, E., és Sullivan, E. V. (2005). Frontal circuitry degradation marks healthy adult aging: Evidence from diffusion tensor imaging. *NeuroImage*, 26, 891-899.

Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Wenegrat, B. G., Roth, W. T., és Kopell, B. S. (1984). Clinical application of the P3 component of event-related potentials. I. Normal aging. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 85-103.

Pfurtscheller, G. és Lopes Da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1842-1857.

Pfurtscheller, G., Stancak, A., Jr., és Neuper, C. (1996). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band--an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. *International Journal of Psychophysiology*, 24, 39-46.

Phelps, M. E., Mazziotta, J. C., Kuhl, D. E., Nuwer, M., Packwood, J., Metter, J. és mtsai (1981). Tomographic mapping of human cerebral metabolism visual stimulation and deprivation. *Neurology*, 31, 517-529.

Picton, T. W., Stuss, D. T., Champagne, S. C., és Nelson, R. F. (1984). The Effects of Age on Human Event-Related Potentials. *Psychophysiology*, 21, 312-325.

Polich, J. (1997). EEG and ERP assessment of normal aging. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104, 244-256.

Polich, J. (1996). Meta-analysis of P300 normative aging studies. *Psychophysiology*, 33, 334-353.

Polich, J. és Criado, J. R. (2006). Neuropsychology and neuropharmacology of P3a and P3b. *International Journal of Psychophysiology*, 60, 172-185.

Pollatos, O., Kirsch, W., és Schandry, R. (2005). On the relationship between interoceptive awareness, emotional experience, and brain processes. *Cognitive Brain Research*, 25, 948-962.

Pritchard, W. S. és Duke, D. W. (1995). Measuring Chaos in the Brain - A Tutorial Review of EEG Dimension Estimation. *Brain and Cognition*, 27, 353-397.

Pritchard, W. S. és Duke, D. W. (1992). Dimensional Analysis of No-Task Human EEG Using the Grassberger-Procaccia Method. *Psychophysiology*, 29, 182-192.

Pritchard, W. S., Duke, D. W., és Coburn, K. L. (1991). Altered EEG dynamical responsivity associated with normal aging and probable Alzheimer's disease. *Dementia*, 2, 102-105.

Pritchard, W. S., Duke, D. W., és Kriebel, K. K. (1995). Dimensional Analysis of Resting Human EEG .2. Surrogate-Data Testing Indicates Nonlinearity But Not Low-Dimensional Chaos. *Psychophysiology*, 32, 486-491.

Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: integration of structural and functional findings. In F.I.M.Craik és T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 1-90). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Raz, N., Gunning, F. M., Head, D., Dupuis, J. H., McQuain, J., Briggs, S. D. és mtsai (1997). Selective aging of the human cerebral cortex observed in vivo: Differential vulnerability of the prefrontal gray matter. *Cerebral Cortex*, 7, 268-282.

Rees, G., Frith, C., és Lavie, N. (2001). Processing of irrelevant visual motion during performance of an auditory attention task. *Neuropsychologia*, 39, 937-949.

Rockstroh, B., Muller, M., Wagner, M., Cohen, R., és Elbert, T. (1993). Probing the Nature of the CNV. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87, 235-241.

Rosahl, S. K. és Knight, R. T. (1995). Role of Prefrontal Cortex in Generation of the Contingent Negative-Variation. *Cerebral Cortex*, 5, 123-134.

Rossini, P. M., Buscema, M., Capriotti, M., Grossi, E., Rodriguez, G., Del Percio, C. és mtsai (2008). Is it possible to automatically distinguish resting EEG data of normal elderly vs. mild cognitive impairment subjects with high degree of accuracy? *Clinical Neurophysiology*, 119, 1534-1545.

Rozenkrants, B. és Polich, J. (2008). Affective ERP processing in a visual oddball task: Arousal, valence, and gender. *Clinical Neurophysiology*, 119, 2260-2265.



Ruffman, T., Henry, J. D., Livingstone, V., és Phillips, L. H. (2008). A meta-analytic review of emotion recognition and aging: Implications for neuropsychological models of aging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32, 863-881.

Salat, D. H., Tuch, D. S., Greve, D. N., van der Kouwe, A. J. W., Hevelone, N. D., Zaleta, A. K. és mtsai (2005). Age-related alterations in white matter microstructure measured by diffusion tensor imaging. *Neurobiology of Aging*, 26, 1215-1227.

Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54, 35-54.

Salthouse, T. A. (1996). The Processing-Speed Theory of Adult Age Differences in Cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.

Salthouse, T. A. (1994). The Aging of Working Memory. *Neuropsychology*, 8, 535-543.

Salthouse, T. A. (1990). Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental Review*, 10, 101-124.

Salthouse, T. A., Atkinson, Th. M., és Berish, D. E. (2003). Executive Functioning as a Potential Mediator of Age-Related Cognitive Decline in Normal Adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 566-594.

Sammer, G. (1999). Working memory load and EEG-dynamics as revealed by point correlation dimension analysis. *International Journal of Psychophysiology*, 34, 89-101.

Sammer, G. (1996). Working-memory load and dimensional complexity of the EEG. *International Journal of Psychophysiology*, 24, 173-182.

Schiavetto, A., Kohler, S., Grady, C. L., Winocur, G., és Moscovitch, M. (2002). Neural correlates of memory for object identity and object location: effects of aging. *Neuropsychologia*, 40, 1428-1442.

Schupp, H., Flaisch, T., Stockburger, J., és Junghofer, M. (2006). Emotion and attention: Event-related brain potential studies. *Journal of Psychophysiology*, 20, 115.

Schupp, H. T., Junghofer, M., Weike, A. I., és Hamm, A. O. (2003). Attention and emotion: an ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *Neuroreport*, 14, 1107-1110.

Schupp, H. T., Stockburger, J., Bublatzky, F., Junghofer, M., Weike, A. I., és Hamm, A. O. (2008). The selective processing of emotional visual stimuli while detecting auditory targets: An ERP analysis. *Brain Research*, 1230, 168-176.

Skinner, J. E. és Yingling, C. D. (1976). Regulation of Slow Potential Shifts in Nucleus Reticularis Thalami by Mesencephalic Reticular-Formation and Frontal Granular Cortex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 40, 288-296.

Smith, D. P., Hillman, C. H., és Duley, A. R. (2005). Influences of age on emotional reactivity during picture processing. *Journals of Gerontology Series B-Psychological Sciences and Social Sciences*, 60, 49-56.

Smith, M. C. (1989). Neurophysiology of Aging. *Seminars in Neurology*, 9, 68-81.

Smith, N. K., Cacioppo, J. T., Larsen, J. T., és Chartrand, T. L. (2003). May I have your attention, please: Electrocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia*, 41, 171-183.

Soong, A. C. K. és Stuart, C. I. J. M. (1989). Evidence of Chaotic Dynamics Underlying the Human Alpha-Rhythm Electroencephalogram. *Biological Cybernetics*, 62, 55-62.

Spreckelmeyer, K. N., Kutas, M., Urbach, T. P., Altenmuller, E., és Munte, T. F. (2006). Combined perception of emotion in pictures and musical sounds. *Brain Research*, 1070, 160-170.

Stam, C. J. (2005). Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field. *Clinical Neurophysiology*, 116, 2266-2301.

Stam, C. J., Breakspear, M., van Walsum, A. M. V., és van Dijk, B. W. (2003). Nonlinear synchronization in EEG and whole-head MEG recordings of healthy subjects. *Human Brain Mapping*, 19, 63-78.

Stam, C. J., Jelles, B., Achtereekte, H. A., van Birgelen, J. H., és Slaets, J. P. (1996). Diagnostic usefulness of linear and nonlinear quantitative EEG analysis in Alzheimer's disease. *Clinical Electroencephalography*, 27, 69-77.

Stam, C. J., Pijn, J. P. M., Suffczynski, P., és da Silva, F. H. L. (1999). Dynamics of the human alpha rhythm: evidence for non-linearity? *Clinical Neurophysiology*, 110, 1801-1813.

Stam, C. J. és van Dijk, B. W. (2002). Synchronization likelihood: an unbiased measure of generalized synchronization in multivariate data sets. *Physica D-Nonlinear Phenomena*, 163, 236-251.

Stam, C. J., van Woerkom, T. C., és Pritchard, W. S. (1996). Use of non-linear EEG measures to characterize EEG changes during mental activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 214-224.

Stam, K. J., Tavy, D. L., Jelles, B., Achtereekte, H. A., Slaets, J. P., és Keunen, R. W. (1994). Non-linear dynamical analysis of multichannel EEG: clinical applications in dementia and Parkinson's disease. *Brain Topography*, 7, 141-150.

Stepien, R. A. (2002). Testing for non-linearity in EEG signal of healthy subjects. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 62, 277-281.

Steriade, M., Gloor, P., Llinas, R. R., Dasilva, F. H. L., és Mesulam, M. M. (1990). Basic Mechanisms of Cerebral Rhythmic Activities. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76, 481-508.

Strayer, D. L., Wickens, C. D., és Braune, R. (1987). Adult age differences in the speed and capacity of information processing: An electrophysiological approach. *Psychology and Aging*, 2, 99-110.

Tecce, J. T. és Cattanach, L. (1993). Contingent negative variation (CNV). In E.Niedermeyer és F. H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields* (3rd ed., pp. 887-910). Baltimore: Williams és Wilkins.

Tessitore, A., Hariri, A. R., Fera, F., Smith, W. G., Das, S., Weinberger, D. R. és mtsai (2005). Functional changes in the activity of brain regions underlying emotion processing in the elderly. *Psychiatry Research-Neuroimaging*, 139, 9-18.

Theiler, J. és Rapp, P. E. (1996). Re-examination of the evidence for low-dimensional, nonlinear structure in the human electroencephalogram. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98, 213-222.

Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19, 203-214.

Tomberg, C. (1999). Focal enhancement of chaotic strange attractor dimension in the left semantic (Wernicke) human cortex during reading without concomitant change in vigilance level. *Neuroscience Letters*, 263, 177-180.

Van Boxtel, G. J. M. és Bocker, K. B. E. (2004). Cortical measures of anticipation. *Journal of Psychophysiology*, 18, 61-76.

Van Sweden, B., Wauquier, A., és Niedermeyer, E. (1999). Normal aging and transient cognitive disorders in the elderly. In E.Niedermeyer és F. Lopes de Silva (Eds.), *Electroencephalography. Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (4th ed., pp. 340-348). Baltimore: Williams és Wilkins.

Verhaeghen, P., Marcoen, A., és Goossens, L. (1992). Improving memory performance in the aged through mnemonic training: a meta-analytic study. *Psychology of Aging*, 7, 242-251.

Verleger, R., Neukäter, W., Kömpf, D., és Vieregge, P. (1991). On the reasons for the delay of P3 latency in healthy elderly subjects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79, 488-502.

Wackermann, J. (1999). Towards a quantitative characterisation of functional states of the brain: from the non-linear methodology to the global linear description. *International Journal of Psychophysiology*, 34, 65-80.

Walhovd, K. B. és Fjell, A. M. (2002). The relationship between P3 and neuropsychological function in an adult life span sample. *Biological Psychology*, 62, 65-87.

Wang, Y., Chan, G. L. Y., Holden, J. E., Dobko, T., Mak, E., Schulzer, M. és mtsai (1998). Age-dependent decline of dopamine D1 receptors in human brain: A PET study. *Synapse*, 30, 56-61.

Watts, D. J. és Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393, 440-442.

West, R. L. (1996). An Application of Prefrontal Cortex Function Theory to Cognitive Aging. *Psychological Bulletin*, 120, 272-292.

Wieser, M. J., Muhlberger, A., Kenntner-Mabiala, R., és Pauli, P. (2006). Is emotion processing affected by advancing age? An event-related brain potential study. *Brain Research*, 1096, 138-147.

Wood, Ch. C., McCarthy, G., Squires, N. K., Vaughan, H. G., Woods, D. L., és McCallum, W. Ch. (1984). Anatomical and Physiological Substrates of Event-Related Potentials: Two Case Studies. In R. Karrer, J. Cohen, és P. Tueting (Eds.), *Brain and Information: Event-Related Potentials* (pp. 681-721).

Wood, S., Busemeyer, J., Koling, A., Cox, C. R., és Davis, H. (2005). Older adults as adaptive decision makers: Evidence from the Iowa gambling task. *Psychology and Aging*, 20, 220-225.

Wood, S. és Kisley, M. A. (2006). The negativity bias is eliminated in older adults: Age-related reduction in event-related brain potentials associated with evaluative categorization. *Psychology and Aging*, 21, 815-820.